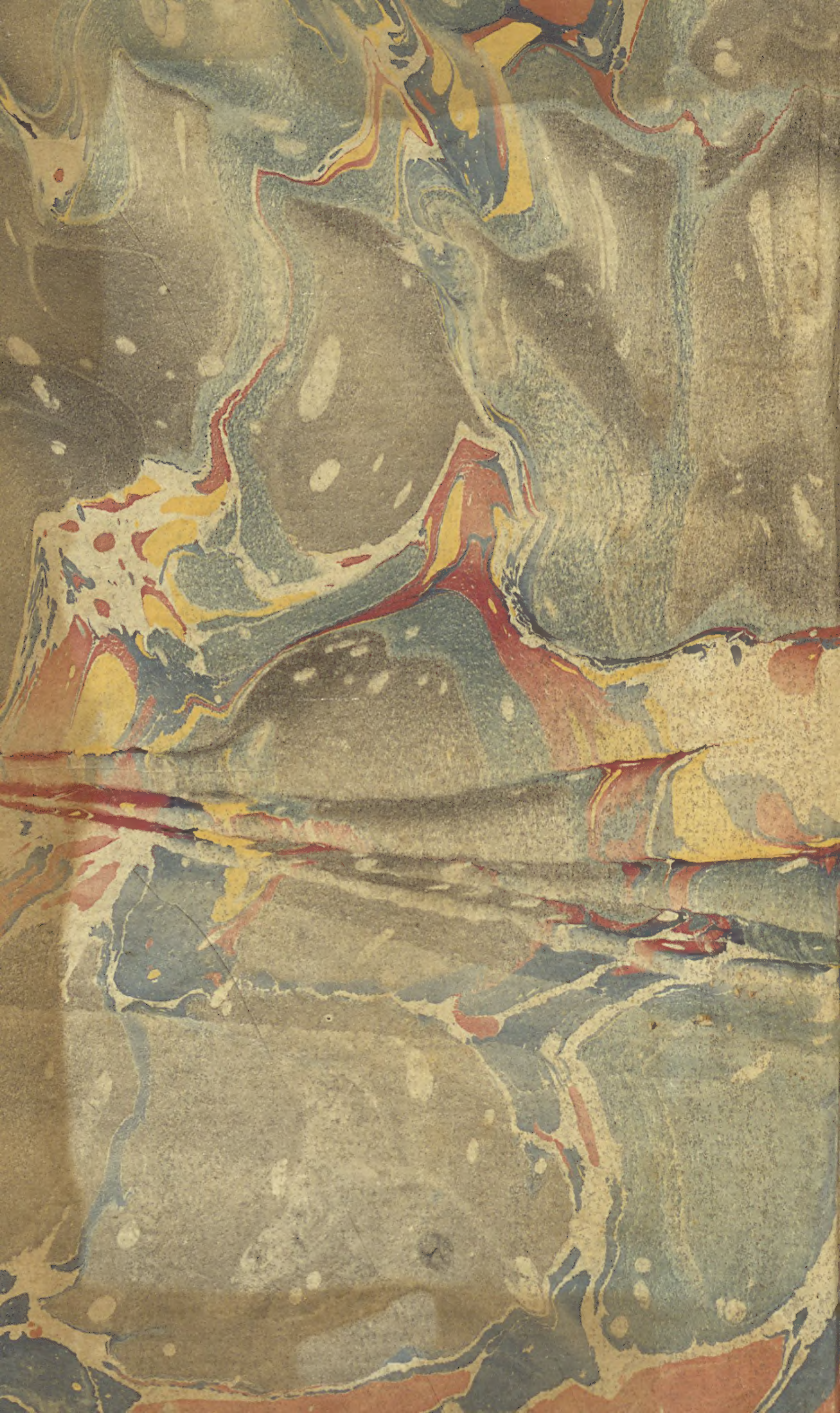
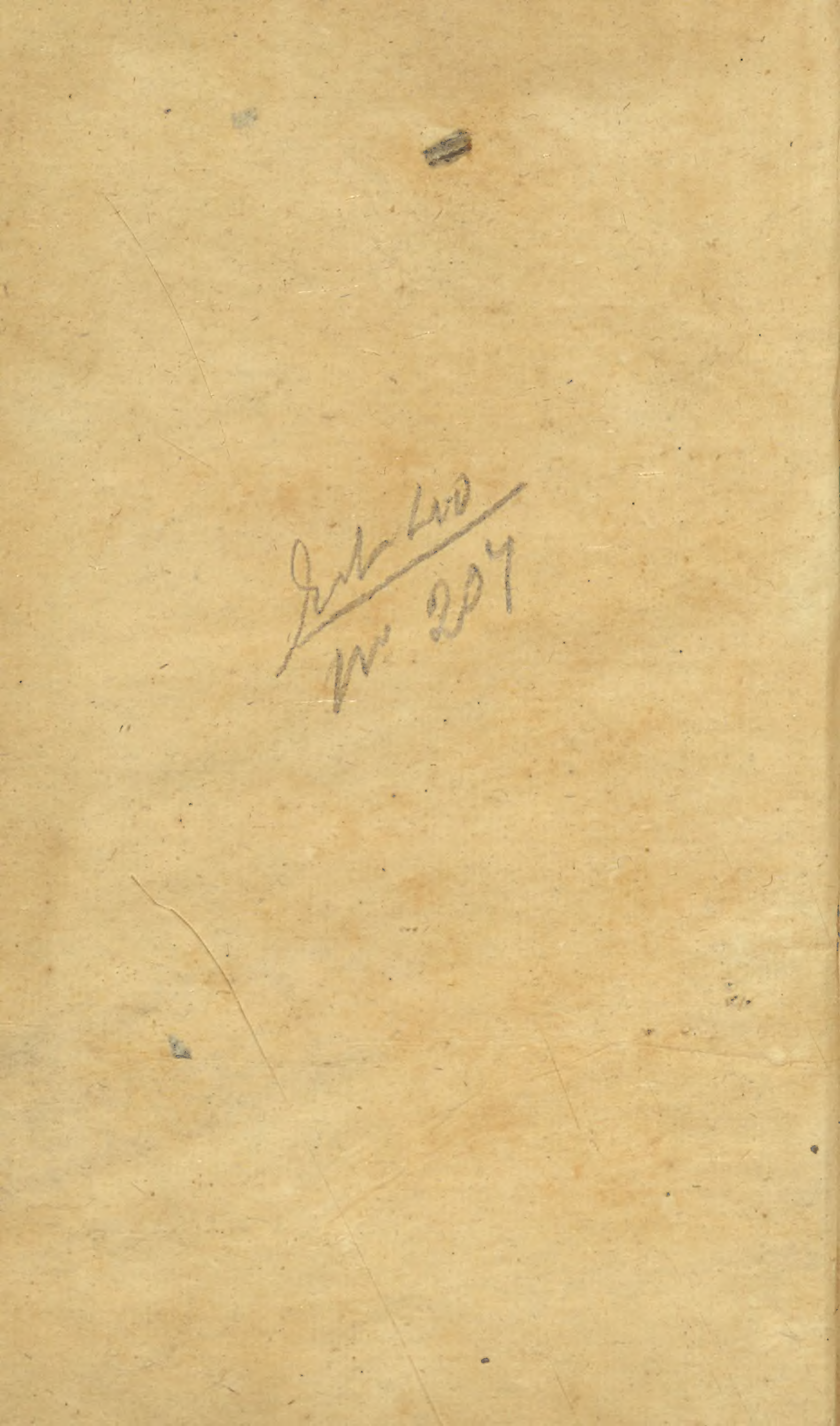








TRATADO DE FÍSICA

ESPERIMENTAL.

TRATADO DE FÍSICA
ESPERIMENTAL

POR J. B. BIOT.

DESTINADO POR DECRETO DE LA COMISION DE INSTRUCCION PÚBLICA DE 22 DE FEBRERO DE 1817 PARA LA ENSEÑANZA EN TODAS LAS CÁTEDRAS DE FÍSICA DEL REINO DE FRANCIA:

TRADUCIDO

POR D. FRANCISCO GRIMAUD DE VELAUNDE,
Individuo de varias Corporaciones científicas y literarias peninsulares y estrangeras, y Discípulo de física de MM. Gay-Lussac, Biot y Tremery, Profesores en la Facultad de Ciencias, y en el Ateneo de Paris.

TOMO SEGUNDO.

MADRID.

IMPRENTA DE REPULLÉS, *plazuela del Angel.*

AÑO 1826.

TRATADO ELEMENTAL
DE FÍSICA.

LIBRO TERCERO.

DE LA ACÚSTICA.

CAPÍTULO PRIMERO.

De la produccion y propagacion del sonido.

Hemos visto en los capítulos anteriores que las partículas de los cuerpos elásticos, cuando se separan momentáneamente de su posicion natural, vuelven á ella por medio de una serie de oscilaciones isócronas. Estas vibraciones se comunican al aire, que es tambien un cuerpo compresible y elástico, y acasionan condensaciones y dilataciones alternativas, producidas al principio en las capas de este fluido mas inmediatas á los cuerpos puestos en movimiento; pero que de ellas se propagan á lo lejos por toda la masa del aire del mismo modo que las ondas formadas en una agua tranquila por una piedra arrojada en ella, estendiéndose circularmente al rededor del centro de movimiento. Cuando estas dilataciones y contracciones se suceden con bastante rapidez, escitan en el órgano del oido la

sensacion que se llama sonido, y la mayor ó menor rapidez de su sucesion constituye la diferencia que se nota entre los tonos graves ó agudos, que distinguen unos de otros los sonidos. Consecuentemente á la marcha que hemos seguido en todo el curso de esta obra, vamos á esponer de un modo esperimental las diferentes propiedades que acabamos de anunciar, aunque la mayor parte de ellas son consecuencias necesarias de lo que la esperiencia nos ha enseñado sobre las vibraciones de los cuerpos elásticos, y sobre la naturaleza fisica del aire.

Desde luego es muy fácil probar que en efecto los cuerpos sólidos cuando son sacudidos de modo que puedan producir un sonido distinto vibran con una gran rapidez; pues si se tocan ligeramente con el dedo, ó con el corte de una lámina metálica, se siente de un modo muy notable una multitud de pulsaciones que se suceden con una rapidez estraordinaria. Se puede hacer esta prueba, por ejemplo, sobre una campana que se acaba de herir, ó sobre una cuerda metálica estirada, que se ha tocado de modo que produzca un sonido.

Para probar que el sonido es en realidad el efecto de estas vibraciones conducidas á cierto grado de rapidez, no hay mas que hacerlas muy lentas al principio, estendiendo la cuerda con un peso muy débil: entonces se podrán contar sus vibraciones, pero no producirá ningun sonido sensible. Para que le produzca será necesario aumentar sucesivamente el peso que ocasiona la tirantez de la cuerda: cuanto mayor sea este, siendo la longitud la misma, mas agudos serán los sonidos, y al mismo tiempo crecerá el número de vibraciones de la cuerda hasta el punto de ser imperceptibles á la vista. Pero el cálculo suplirá esta falta, determinando la rapidez de las vibraciones por la longitud de la cuerda, su peso, y el peso que la mantiene tirante. De este modo se halla que los sonidos dados por la cuerda dejan de ser apreciables, aun al oido mas delicado, cuan-

do produce menos de 32 vibraciones por segundo, en cuyo caso hace percibir el mismo sonido que un cañon de órgano abierto por su estremo de 32 pies de longitud. Este límite de los sonidos apreciables, es decir, susceptibles de ser comparados entre sí músicamente, no es sino una indicacion aproximada, incapaz de exáctitud.

Habiendo probado que el sonido es escitado por las vibraciones rápidas de los cuerpos elásticos, es necesario probar que su transmision se hace por medio del aire, á lo menos cuando no hay mas que este fluido entre el cuerpo sonoro y el oido, lo cual no es muy fácil. Basta colgar una campanilla dentro de un recipiente de vidrio por medio de algunos hilos de cáñamo sin torcer: mientras el recipiente está lleno de aire se oye el sonido de la campanilla; pero quitando el aire por medio de la máquina neumática, no se oye absolutamente nada. El sonido vuelve á sentirse luego que se deja entrar un poco de aire, aunque de un modo muy débil; y su intensidad se aumenta á medida que el aire va entrando. Todos los demas fluidos elásticos sirven lo mismo que el aire para propagar el sonido, como se puede probar introduciéndolos en el recipiente uno despues de otro. Aun los vapores del agua, del éter y del alcool transmiten el sonido, como he esperimentado yo mismo introduciendo en el recipiente los líquidos capaces de producirlos; lo cual se hace fácilmente por medio de una doble llave adaptada al ricipiente, como representa la fig. 1. Por lo mismo, cuando se quiere probar con todo rigor que el sonido no se produce en el vacío, es preciso poner en el recipiente algunos pedazos de potasa cáustica, á fin de absorver los vapores acuosos que puedan quedar en él, y que transmitirian aun el sonido de una manera perceptible, aunque muy débil, á causa de su poca densidad.

Los fluidos elásticos no son los únicos cuerpos que transmiten el sonido; este se propaga tambien

por medio de los cuerpos fluidos. Si se hacen chocar dos piedras bajo el agua de un estanque, se oye el ruido de este choque aun á grandes distancias, teniendo sumerjida la cabeza debajo del agua. A lo menos Franklin asegura haber oido de este modo el sonido á la distancia de media milla.

En fin, el sonido se transmite tambien por medio de los cuerpos sólidos. El minador que socava una mina oye los golpes del minador enemigo, y juzga por ellos de su direccion. Colocándose á uno de los estremos de una larga fila de tubos metálicos, como puede hacerse en los acueductos, se oyen muy claramente los martillazos dados al otro estremo, y aun se oyen distintamente dos sonidos; uno mas rápido, transmitido por el metal, y otro mas lento, comunicado por el aire. Mas adelante compararemos las velocidades de estas dos especies de propagacion.

Ahora es menester que examinemos mas de cerca cómo los sacudimientos producidos por las vibraciones de los cuerpos sonoros en las moléculas de aire que los rodean pueden propagarse desde alli hasta el órgano del oido; y pues la continuidad de las vibraciones no hace otra cosa mas que continuar y hacer durable esta transmision, es claro que para examinar el fenómeno con la mayor sencillez se deberá indagar primeramente cómo se propaga un sacudimiento instantáneo, por ejemplo, la esplosion súbita de un cañon ó de una pistola.

Para fijar las ideas, supongamos que la esplosion se hace en una masa esférica de aire. En el momento que se verifique, las moléculas comprendidas en esta esfera serán fuertemente impelidas contra las inmediatas. Pero oponiendo éstas una resistencia que es necesario vencer, es claro que las primeras se comprimen al tiempo de moverse. Las que las rodean, cediendo en parte á su esfuerzo, se mueven tambien y se comprimen, pero en una proporcion menor, hasta que al fin la compresion y el movimiento llegan á ser insensibles á cierta distancia del

centro de esplosion. Esto es lo que sucede en el primer instante; pero luego que cesa la causa de la esplosion, las moléculas que han sido comprimidas se dilatan en todos sentidos por efecto de su elasticidad natural, é impelen todos los obstáculos que se oponen á este movimiento. Impelen, pues, á las partículas inmediatas que no fueron movidas en el primer instante y las comprimen; entonces el efecto respecto á estas es el mismo que anteriormente respecto á las primeras; y por estas condensaciones y dilataciones alternativas, la ondulacion se propaga sucesivamente en toda la masa de aire, como un choque instantáneo por medio de una fila de bolas elásticas en contacto unas con otras.

Para determinar con exactitud las diferentes particularidades de esta propagacion es necesario escitar en un punto de la atmósfera una esplosion súbita; y medir los intervalos de tiempo en que el sonido llega á diferentes distancias en una misma capa horizontal. Esto será fácil si la esplosion produce al mismo tiempo una luz visible desde el sitio en que está colocado el observador; porque la transmision de la sensacion que los cuerpos luminosos producen en nuestros sentidos es tan rápida, que en todas las distancias á que podemos obrar sobre la tierra parece instantánea; asi que, el instante fisico en que veamos la luz podrá tomarse por el instante en que se verifica la esplosion. No restará, pues, sino observar en un relox de segundos el intervalo de tiempo que pasa entre la aparicion de la luz y el momento en que se oye el sonido.

De este modo los miembros de la academia de ciencias de París determinaron en 1738 la velocidad de la propagacion del sonido entre Montlhèry y Montmartre en una distancia de unos 29000 metros. La señal se hacia por tiros de cañon, y hallaron que la velocidad de la propagacion era uniforme. El valor absoluto de esta velocidad, deducido de un gran número de esperiencias, se halló que era

de 337,18 metros por segundo; siendo sensiblemente la misma, ya estuviese el tiempo cubierto ó sereno, despejado ó nebuloso, con tal que el aire estuviese tranquilo. Pero si estaba agitado por el viento, la velocidad de este, descompuesta en la direccion de la línea sonora aumentaba ó disminuia con todo su valor la velocidad de la propagacion del sonido, segun era favorable ó contraria á esta.

Segun este analisis fisico del fenómeno se ve que el movimiento y las condensaciones que existen cada instante en la masa de aire no son otra cosa mas que la percusion del movimiento y de las condensaciones comunicadas á las primeras partículas sobre que ha obrado directamente la esplosion; y como en un aire libre, á medida que la ondulacion se estiende, se comunica á un mismo tiempo á mayor número de partículas, es preciso que las agitaciones y alteraciones de densidad momentáneas vayan debilitándose á medida que se separan del centro de esplosion. Esto es en efecto lo que se observa en la atmósfera, pues el sonido parece tanto mas débil, cuanto mas lejos se está del sitio donde se produce. Pero si la masa de aire en que se propaga el movimiento fuese cilíndrica, no habria motivo para que la fuerza del sonido se debilitase con la distancia, á no ser por el rozamiento del aire contra las paredes de los tubos. Esto es lo que yo mismo he esperimentado en los tubos de los acueductos de París en una columna de aire cilíndrica de 951 metros de longitud. La voz mas baja se oía á esta distancia, de modo que se percibian todas las palabras, y podia establecerse una conversacion seguida. Quise determinar el tono en que la voz dejaba de ser sensible, y no pude conseguirlo; porque las palabras dichas como cuando se habla al oido se entendian perfectamente; de suerte, que para no oirse no habia absolutamente mas que un medio, que era no hablar. Entre una pregunta y una respuesta hechas de este modo pasaban 5,58 segundos, que era el tiempo que el so-

nido gastaba en recorrer dos veces la longitud del tubo, es decir, 1902 metros. Para saber si se propagaban con igual velocidad los sonidos graves y agudos, fuertes y débiles, ó si habia entre ellos alguna diferencia bajo este punto de vista, hice tocar algunas piezas de flauta en uno de los estremos del tubo. Todo el mundo sabe que el canto músico está sujeto á cierta medida que arregla exactamente el intervalo de los sonidos sucesivos; por consiguiente, si algunos se propagaban con mas rapidez que otros, al llegar á un oido debian confundirse con los que los precedian ó seguian, y por lo mismo oir el canto enteramente alterado. En vez de suceder asi, yo le oía perfectamente regular, y conforme á su medida natural; de donde resulta que todos los sonidos se propagan con igual velocidad. Esta observacion la habian ya hecho los miembros de la academia en 1738, pero ignoro de qué método se valieron. Para hacer con buen éxito las esperiencias que acabo de esplicar, es absolutamente necesario elejir los instantes mas tranquilos de la noche, como por ejemplo, de una á dos de la mañana. Durante el dia, mil ruidos confusos agitan el aire esterior, hacen resonar los tubos, é impiden distinguir bien, y acaso destruyen enteramente los sacudimientos débiles, producidos por una voz baja al estremo de la columna de aire. En tales circunstancias no se oyen á veces ni aun los gritos mas fuertes.

En fin, se puede fácilmente hacer sensible en los tubos el doble efecto de las velocidades y de las condensaciones transmitidas al mismo tiempo á las partículas de aire, á medida que llega á ellas la ondulacion sonora. En la columna cilíndrica en que yo hacia mis esperiencias, los pistoletazos tirados al un estremo ocasionaban en el otro una esplosion considerable cuando llegaba á él el sacudimiento. El aire era arrojado del último tubo con bastante fuerza para producir un viento impetuoso que se sentia en la mano, para arrojar á medio metro de distan-

cia los cuerpos ligeros que se colocaban en su direccion, y para apagar velas encendidas, á pesar de estar á 951 metros del punto donde se habia tirado el pistoletazo dos segundos y medio antes.

Siendo todos estos fenómenos simples consecuencias de las propiedades fisicas del aire, es claro que deben poderse calcular y predecir exactamente, segun las leyes de la mecánica. En efecto, se verifica asi. Se supone un fluido homogéneo, de una densidad y una temperatura constante, y cuya fuerza elástica es conocida y medida por la presion de una columna de mercurio de una altura determinada; despues se supone que una pequeña parte de este fluido, y por decirlo asi, una sola partícula es sacudida de repente de un modo cualquiera, por ejemplo, impelida, comprimida ó dilatada, ó bien recibe á un mismo tiempo todas estas modificaciones; y se pregunta cómo debe propagarse este sacudimiento por toda la masa. De esta manera se halla que se propaga sucesivamente, es decir, que no llega á cada partícula, sino á una época determinada, segun su distancia, que la agita un momento, y la abandona en seguida á su estado primitivo de reposo. La velocidad de esta propagacion es uniforme. Su espresion analítica demuestra que su cuadrado es proporcional á la fuerza elástica del fluido é inversa de su densidad; de donde se sigue que respecto á un mismo gas, es constante, cualquiera que sea la presion que se le haga sufrir, con tal que no cambie su temperatura; porque segun la ley de Mariotte, la fuerza elástica de un gas que no se calienta ni se enfria, varía proporcionalmente á la densidad que se le da. Por esta razon la velocidad del sonido en una capa horizontal de la atmósfera seria la misma á cualquiera altura si la temperatura no fuese disminuyendo al paso que se eleva: pero el enfriamiento de las regiones superiores hace que el sonido se propague en ellas mas lentamente. Su intensidad es tambien alli mas débil, respecto á un sacudimien-

to igual, porque es menor el número de moléculas movidas en un mismo radio. Del mismo modo se concibe que un ruido causado en las regiones superiores de la atmósfera debe debilitarse y aun estinguirse propagándose hácia las capas inferiores con mas rapidez que en la transmision horizontal; porque siendo estas capas mas densas, el movimiento primitivo se reparte en ellas entre un número mayor de partículas; pero la disminucion deberá ser menor á igual distancia, si el sonido escitado primitivamente en las regiones inferiores de la atmósfera se propaga hácia las regiones elevadas.

Segun estos cálculos, la velocidad absoluta del sonido en el aire atmosférico á la temperatura del hielo al derretirse deberia ser de 279,29 metros por segundo; y á la temperatura de 6 grados á que hicieron sus esperiencias los académicos franceses deberia ser de 282,42 metros, cuando la observacion ha dado 337,18 metros resultado $\frac{1}{6}$ mayor. Esta diferencia proviene, como ha observado Mr. Laplace, de que en el cálculo de la elasticidad del aire no se cuenta con el calor que se separa y absorve en las contracciones y dilataciones sucesivas que producen el sonido. Estas variaciones, aunque momentáneas, producen alternativas correspondientes en la temperatura de las moléculas de aire movidas; y resulta de aqui que su elasticidad varía con mas rapidez que la que supone la ley de Mariotte respecto á una temperatura constante. Se concibe, pues, que esta causa debe acelerar la propagacion del sonido; y sujetándola al cálculo se saca la verdadera velocidad respecto á la elevacion de temperatura que una masa de aire puede comunicarse á sí misma por el desprendimiento de su propio calor, cuando es comprimida de pronto en una relacion conocida. Por desgracia este elemento parece muy dificil de determinar con exactitud por la esperiencia, á causa de la gran porcion de calor que absorven los vasos en que es preciso encerrar el aire para obrar sobre él. Por tanto, se tras-

torna el problema; y partiendo de la velocidad del sonido determinado por la esperiencia, se deduce de ella la cantidad de calor que se desprende. De este modo se halla que una masa de aire que se comprime $\frac{1}{116}$ de su volúmen, puede elevar 1° centesimal su propia temperatura.

La verdad de esta esplicacion puede comprobarse con una observacion decisiva, á saber, que el sonido se produce y transmite en los vapores del mismo modo que en los gases permanentes. Pero segun la constitucion de los vapores, no podria verificarse esto si las condensaciones y espansiones alternativas producidas por las vibraciones del cuerpo sonoro no produjesen en ellos las alteraciones instantáneas de calor, capaces de mantener la elasticidad del fluido elevando su temperatura, pues de otro modo las partes comprimidas no harian mas que ceder á la fuerza comprimente, y volver al estado líquido sin propagar el sacudimiento á otras partículas mas distantes, que es precisamente el modo esencial de producirse y propagarse el sonido.

Hasta aqui no hemos considerado sino un solo centro de conmocion primitivo reducido á un punto matemático; pero si hay muchos, como sucede ordinariamente, será preciso considerar cada uno de ellos como centro de una ondulacion que se estenderá esféricamente en el espacio; y si las velocidades y variaciones iniciales de densidad comunicadas á las partículas aéreas son todas muy pequeñas, como se supone para simplificar el cálculo del fenómeno, las moléculas distantes del sitio en que se producen las agitaciones primitivas tendrán un movimiento compuesto de la suma de las agitaciones producidas por los centros parciales. La duracion de este movimiento dependerá del tiempo que empiecen en sucederse estas agitaciones, segun la distancia de los puntos de donde parten. Por ejemplo, si la masa de aire movida primitivamente es una esfera de un radio CA, fig. 2, y se considera una partícula distan-

te, tal como M, esta partícula empezará á agitarse cuando reciba la ondulacion que parta del punto mas inmediato A de la esfera, y dejará de serlo cuando reciba la ondulacion partida del centro C; de suerte que su movimiento durará todo el tiempo que el sonido tarda en recorrer el radio C A de la esfera. Las moléculas situadas mas allá del centro C no producen en M ninguna agitacion sensible, pues estan contrariadas por los movimientos opuestos nacidos de C A; pero la producirán en otra molécula M situada al otro lado de la esfera; resultado importante que demuestra el análisis.

Hemos considerado tambien la propagacion del sonido en una masa de aire homogénea é indefinida. Supongamos ahora esta masa terminada por una superficie fija; entonces las moléculas que tocan inmediatamente á esta no pueden separarse de ella, pues si esto sucediese se formaria un vacío sobre la superficie, y las moléculas de aire que se hubiesen separado se verian obligadas á volver donde antes estaban: no podrán, pues, tener otro movimiento que en la direccion del plano tangente. Por otra parte, hasta que la ondulacion sonora llegue á la superficie fija, debe propagarse como en el aire libre, puesto que en este espacio la densidad del aire es la misma que si no existiese el obstáculo. Estas condiciones introducidas en las fórmulas analíticas manifiestan, cuando se saben manejar, cómo se continúa la ondulacion sonora. De esta manera se prueba que al encontrar una superficie plana, el sonido debe reflejarse como la luz, haciendo el ángulo de reflexion igual al ángulo de incidencia; y suponiendo que la ondulacion directa nazca de un solo punto movido, la ondulacion refleja será la misma que si proviniese de un punto situado á la misma distancia al otro lado del plano. Estos resultados esplican el fenómeno del eco. Si la superficie del obstáculo es la de un elipsoide, y el centro de la ondulacion directa está colocado en uno de los focos, el sonido reflejará por

otra onda esférica, cuyo centro esté en el otro foco, y su intensidad crecerá despues de la reflexion á medida que se concentre y converje hácia este punto. Tales son los únicos casos de reflexion del sonido que se han podido deducir hasta ahora de la teoría con respecto á las tres dimensiones de la masa de aire.

Si se llena una misma esfera de diferentes fluidos aeriformes, ó de vapores, se puede medir la intensidad del sonido que se produce en ellos por la distancia á que se oye; pero es preciso emplear dentro de la esfera un cuerpo sonoro, cuyas vibraciones tengan siempre igual fuerza, como por ejemplo, una campanita de relox. Obrando de este modo se halla que la intensidad del sonido crece con la densidad del fluido aeriforme que contiene la esfera.

La velocidad de la transmision del sonido por medio de los cuerpos sólidos se calcula del mismo modo que por medio del aire, segun la reaccion elástica del cuerpo comunicante. Mr. Lagrange ha dado la fórmula para el caso de la propagacion por una fibra sólida, y Mr. Laplace ha calculado la reaccion de una fibra semejante por el aumento de longitud, ó la contraccion que sufre bajo la influencia de una fuerza dada. De este modo ha hallado que llamando 1 la velocidad de la transmision del sonido en el aire, es en el laton $10\frac{1}{2}$, en el agua de lluvia $4\frac{1}{2}$, y en el agua del mar $4\frac{7}{10}$; todas ellas mucho mayores que en el aire. Estos resultados se pueden comprobar por medio de esperiencias que esplicaremos en breve, ó bien directamente sobre largas columnas de la materia que se quiera probar, como he hecho yo mismo con 376 tubos de hierro fundido, que formaban una longitud de $951\frac{1}{4}$ metros. Adaptaba á uno de los estremos de este canal un anillo de hierro del mismo diámetro que él, en cuyo centro habia una campanita de relox y un martillo que se dejaba caer cuando se queria, y que al mismo tiempo que a la campanita heria al tubo, con quien estaba en contacto por medio del anillo de hierro. Asi que, co-

locándose al otro estremo de la línea, debian oirse dos sonidos, uno transmitido por el metal del tubo, y otro por el aire; y en efecto se oian muy claramente aplicando el oido á los tubos. El primer sonido, esto es, el mas rápido, era el comunicado por el cuerpo de los tubos, y el segundo por el aire. Algunos martillazos dados en el último tubo produjeron tambien esta doble comunicacion. Observando cuidadosamente con cronómetros de medios segundos el intervalo de los dos sonidos, he hallado que el sonido se comunicaba con una celeridad $10\frac{1}{2}$ veces mayor por el metal que por el aire.

CAPITULO II.

De la percepcion y comparacion de los sonidos continuados.

Ahora que sabemos ya cómo se propaga por toda la masa de un fluido elástico una agitacion repentina producida en algunos de sus puntos, nos será muy fácil entender cómo se comunican por el aire las vibraciones de los cuerpos hasta nuestro oido, y hacen percibir en él un sonido continuo; porque á medida que las partículas de un cuerpo que vibra van y vienen en sus movimientos alternativos, obran mecánicamente sobre las moléculas de aire que las rodean; y si al ir las empujan y comprimen, al venir las ofrecen un vacío donde puedan dilatarse. Por consiguiente las partículas de aire contiguas al cuerpo sonoro irán y volverán alternativamente como él por medio de vibraciones semejantes, obrarán sobre las moléculas de aire inmediatas, estas sobre otras, y asi hasta el infinito.

Para formarnos una idea exacta de esta transmision, considerémosla en una columna de aire cilíndrica, de densidad uniforme, y aislada por todas partes, como AO, fig. 3. Supongamos que el cuerpo sonoro sea una superficie plana que vibre perpen-

dicularmente á esta columna, de suerte que CC, C′C′ representen los límites de sus movimientos, y designemos por T el tiempo cortísimo que emplea en pasar de una de estas posiciones á la otra. Para referir el efecto de estas vibraciones al de las conmociones instantáneas que hemos considerado al principio, dividamos por medio del pensamiento su estension total AA′ en una infinidad de capitas de aire, que supondremos movidas unas despues de otras, siéndolo cada una en un instante infinitamente pequeño. Entonces, partiendo la superficie vibrante del punto A, el primer sacudimiento se producirá en A; y si se detuviese despues de este primer choque, resultaria una onda sonora de una longitud insensible, que se propagaria por toda la masa de aire con la velocidad ordinaria del sonido. Ademas de esto, por razon de la pequeñez de la capita de aire sujeta primitivamente á la impulsion del cuerpo sonoro, este sacudimiento propagado solo duraria en cada punto un instante infinitamente pequeño. Antes de hacer pasar la superficie vibrante á una segunda capa de aire es preciso admitir como un hecho (que probaremos en breve por esperiencia) que en todos los sonidos que pueden apreciarse por el órgano del oido, la velocidad absoluta del cuerpo sonoro es siempre muy pequeña comparativamente á la velocidad de la transmision del sonido. Segun esto, cuando la superficie vibrante llegue á la segunda capa de aire, habrá ya cesado la agitacion producida en ella por la onda sonora, y habrá vuelto al estado de reposo. La superficie la moverá, pues, con su choque como movió á la primera, lo cual producirá una segunda ondulacion que se propagará por toda la columna de aire, siguiendo á la primera. En fin, cuando habiendo pasado el tiempo total T la superficie vibrante llegue á A′, límite de su movimiento en esta direccion, partirá la última ondulacion desde este punto. Habrá, pues, cada instante sobre la línea de aire una serie de puntos consecutivos, que

estarán agitados por una de las ondulaciones que sucesivamente han salido del espacio AA′, y el conjunto de estos puntos formará la *onda sonora*, que constantemente estará comprendida entre las ondulaciones estremas que han salido de A y A′. La *longitud de esta onda* será, pues, igual á la distancia que hay entre los puntos de donde han partido estas ondulaciones, mas el espacio que ha debido recorrer la primera ondulacion durante el tiempo T que precedió su salida á la de la segunda. En todos los sonidos regulares y apreciables por nuestros órganos, esta última parte de la longitud de la onda es la única con que debe contarse, porque la estension del movimiento del cuerpo sonoro es tan pequeña, que se puede despreciar; y asi, respecto á este caso, único que puede interesarnos, *la longitud de las ondas sonoras es sensiblemente igual al espacio que el sonido puede recorrer en el tiempo T que duran los movimientos del cuerpo vibrante que produce el sonido.*

Segun esto, si el cuerpo hiciese una vibracion por segundo á la temperatura del hielo al derretirse, la onda sonora que resultaria tendria una longitud igual á 333,44 metros ó 1026,4 pies, que es el espacio que recorre el sonido en estas circunstancias en un segundo de tiempo; y con respecto á cualquiera otra duracion que se suponga á las vibraciones, la longitud de la onda variará proporcionalmente á ellas. De donde deduciremos la tabla siguiente que nos será util con bastante frecuencia.

Número de vibraciones infinitamente pequeñas del cuerpo sonoro en un segundo.		Longitud de las ondas sonoras que resultan (1).	
	1	1024 pies.	
	2	512	
	4	256	
	8	128	
	16	64	
Principio de los sonidos apreciables.	32	32	Los sonidos comprendidos bajo esta llave son los que daria un cañon de órgano abierto por ambos estremos, y de una longitud igual á la de la ondulacion aérea.
	64	16	
	128	8	
	256	4	
	512	2	
	1024	1	
	2048	6 pulgadas.	
	4096	3	
Fin dé los sonidos apreciables.	8192	18 líneas.	

En seguida veremos que la esperiencia confirma estos resultados del modo mas exacto.

Pero aun no hemos considerado sino una sola vibracion del cuerpo sonoro desde A á A′. Cuando vuelva de A′ á A producirá otra serie de ondulaciones semejantes, cuyo conjunto formará una onda total que tendrá la misma longitud que la primera, y que la seguirá inmediatamente, como se siguen los movimientos del cuerpo sonoro que las escita. Pero si la masa ha impelido las partículas de aire en la direccion AA′ condensándolas, la segunda las atraerá en la direccion A′A enrareciéndolas; de suerte que si su densidad inicial ha llegado á ser sucesivamente D, D+d, D por efecto de la primera, será D, D—d, D por efecto de la segunda.

Todas las partículas aéreas conmovidas sucesi-

(1) Pongo estas medidas en pies porque su aplicacion principal es para la construccion de los cañones de órgano, cuyo tamaño está calculado en pies, pulgadas y líneas antiguas; y para evitar las fracciones he supuesto la velocidad del sonido de 1024 pies por segundo en lugar de 1026, porque siendo 1024 una potencia exacta de 2, es muy á propósito para las subdivisiones por mitad.

vamente esperimentarán á su vez estos diferentes estados; y en el intervalo de una onda á la siguiente se volverán á hallar en su estado inicial de posicion y densidad; porque suponiendo que las posiciones CC, C′C′ son los límites de las vibraciones naturales del cuerpo sonoro, determinados por la elasticidad de sus partes, el movimiento no debe cesar en ellos de repente, sino hacerse gradualmente insensible á medida que se acerca; de suerte que las últimas impulsiones que produce sobre el aire son muy débiles, y en fin nulas, lo cual permite que las moléculas conmovidas vuelvan á su primer estado. Esto sucederá asi de un modo indefinido, cualquiera que sea el número de ondas alternativas que se sucedan; de suerte que despues de un número *n* de vibraciones del cuerpo sonoro, habrá en la línea de aire un número *n* de ondas sonoras iguales que irán una despues de otra, fig. 4, y ocuparán juntas una longitud total igual á su suma. Luego si sobre esta línea de aire se encuentra un órgano capaz de ser conmovido por estas ondulaciones, el observador que se halle dotado de él percibirá la sensacion del sonido producido por un cuerpo sonoro. La sucesion periódica de estas ondas, su duracion, su fuerza, serán otras tantas circunstancias que le harán apreciar la cualidad de los sonidos, y distinguir unos de otros. Hemos observado ya que el ser los sonidos mas agudos depende de la mayor rapidez de las vibraciones; su intensidad dependerá de la estension del movimiento de las partículas agitadas sucesivamente, de la energía de las condensaciones y dilataciones momentáneas que cada onda produzca en ellas, y en fin del mayor ó menor número de partículas que sufran tales efectos, y los comuniquen al órgano auditivo.

Segun estas consideraciones se infiere que el principio y fin de las ondas sonoras deben producir muy poca impresion sobre el órgano, pues entonces son muy débiles los movimientos y las variaciones

de densidad de las partículas. Sin embargo, como las sensaciones duran y subsisten cierto tiempo aun despues de cesar la causa que las produce: debe suceder, y sucede en efecto, que cuando las vibraciones son muy rápidas, la impresion causada por el medio de las ondas sonoras compensa la debilidad de sus estremos, y produce una sensacion continua. Pero si su sucesion viene á ser tan lenta que el oido pueda percibir períodos de intensidad, y distinguir sus intervalos, se debe oir en vez de un sonido continuo una serie de ruidos arreglados periódicamente. Esto es lo que confirma la esperiencia, y de que muy pronto tendremos repetidas pruebas.

CAPITULO III.

Vibraciones de las cuerdas elásticas.

Despues de haber examinado las circunstancias físicas, cuyo conjunto caracteriza cada sonido, es preciso que busquemos algun medio facil y seguro para producir una serie continua de sonidos, cuyo número de vibraciones por segundo pueda conocerse cuando se quiera, porque entonces al oir un sonido cualquiera, comparándole en esta serie á su *unisono*, es decir, á aquel que nos da la misma sensacion de agudo ó grave, sabremos qué número de vibraciones han de hacerse en cada segundo para producirle; y por consiguiente se hallará determinado por este número con tanta mayor exactitud, cuanto que el oido ejercitado es, segun prueba la esperiencia, un juez sumamente delicado de esta comparacion. Entre los diferentes cuerpos sonoros, cuyas vibraciones pueden darnos un tipo generalmente comparable, no hay ninguno tan cómodo como las cuerdas elásticas muy tirantes, principalmente cuando consisten en un simple hilo de metal tirado por hilera. La forma exactamente cilíndrica de un hilo semejante, su homogeneidad, la igual elasticidad de to-

das sus partes, y en fin, la facilidad de reproducirle exactamente idéntico, conociendo su grueso y la naturaleza de su sustancia, son otras tantas circunstancias que le hacen sumamente propio para esperiencias que sean siempre comparables. Para hacerle producir vibraciones sonoras es necesario estenderle fuertemente entre dos puntos fijos, como en los instrumentos de música, ó unirle fijamente solo por un estremo; estirándole verticalmente por medio de un peso, como representa la fig. 5; ó bien horizontalmente, haciéndole pasar por cima de una polea colocada á la misma altura que el punto fijo; como representa la fig. 6.

En estos dos últimos casos, para aislar la parte de hilo que se quiere hacer vibrar, es necesario limitarla sujetando el hilo por medio de un puentecillo que impida que salgan de su sitio los puntos estremos durante el movimiento. Los aparatos de esta especie se llaman *monocordios* ó *sonómetros*. El sonómetro vertical, fig. 5, es mucho mas exacto y perfecto que el horizontal, porque en este último la tension que el peso deberia producir, está siempre modificada por el roce que la polea sufre al rededor de su eje, y que es tanto mayor cuanto mas comprimida se halla por la accion del peso, lo cual hace que el mismo peso aplicado al mismo hilo no produce siempre la misma tension. Por esta razon, para las investigaciones muy exactas, es preciso emplear el sonómetro vertical, dejando el otro para un pequeño número de esperiencias en que es necesaria la horizontalidad, como veremos mas adelante. En fin, como los sonidos de una cuerda sencilla, aislada de todo otro cuerpo, serian muy débiles y poco durables en la práctica, se unen los puntos fijos de los sonómetros á una caja vacía, cuyas paredes estan formadas con planchitas de madera, secas, elásticas y delgadas, como las que forman la caja de los violines, violones y otros instrumentos músicos. La esperiencia prueba que par-

ticipando estas planchitas del movimiento vibratorio de la cuerda resuenan como ella, y aumentan su sonido sin alterarle de ningun modo. Mas adelante trataremos de estudiar en qué consiste esta correspondencia de movimientos, y por ahora le empleamos como un hecho. Cuando á una cuerda metálica estendida de este modo por un peso, se la separa de su direccion rectilínea, por poco que sea, y se la abandona en seguida á sí misma la fuerza de traccion que procura volverla á su direccion primitiva, la hace hacer á una y otra parte un gran número de oscilaciones que se perciben con la simple vista, aunque generalmente son demasiado rápidas para poder contarlas. La estension de estas oscilaciones va disminuyendo continuamente; pero si son tan pequeñas que la variacion de su amplitud no altere sensiblemente la tension primitiva, no varía tampoco el tono del sonido que resulta, es decir, la especie de sensacion de agudo ó grave que produce; y por una consecuencia del mismo principio, este sonido es siempre igual, de cualquier modo que se la haga perder su estado de equilibrio, ya pulsándola, ya haciéndola vibrar por medio de un arco. En este fenómeno se puede considerar cada elemento infinitamente pequeño de la cuerda, como una pequeña masa, cuyo motor es la tension; de modo que conociendo la longitud de la cuerda, su peso y la fuerza de tension que la mantiene estendida, debe ser un simple problema de mecánica el determinar la duracion de sus oscilaciones infinitamente pequeñas. En efecto, partiendo de estos datos, el cálculo demuestra los resultados siguientes.

Cuando dos cuerdas de la misma materia y grueso, se hallan igualmente estendidas, y solo se diferencian en la longitud, el número de sus vibraciones en un tiempo dado, es inverso de la longitud; pero si la naturaleza de la cuerda y su longitud son las mismas, y solo varía el peso que las mantiene estendidas, el número de oscilaciones en

un tiempo dado es proporcional á las raices cuadradas de estos pesos. Se puede comprobar fácilmente en el monocordio el efecto de estas dos especies de variaciones.

Para hacer variar solamente la longitud se puede emplear un puentecillo movible, de forma triangular, que se coloca bajo la cuerda, en el punto que se quiere de su longitud. Este puentecillo, representado por H, fig. 7, debe tener una altura tal que colocado entre la tabla de la caja y la cuerda, ésta le comprima con bastante fuerza para quedar fija en este punto. Para mayor seguridad y exactitud, se puede tambien sujetar la cuerda por medio de una tenacilla metálica P, fig. 5, sostenida por una corredera que se mueva á lo largo de una division de partes iguales, de suerte que se pueda conducir y fijar en el punto que se quiera de la longitud total.

Dispuesto todo de este modo, supongamos que se afloja la tenacilla, ó se quita el puente para hacer vibrar toda la cuerda. El número de oscilaciones por segundo será determinado, y se podrá demostrar por fórmulas de mecánica, segun el peso de la cuerda, y el que la mantiene estirada (*). Sea este número el que quiera, representémosle por n; y á fin de fijar la sensacion que resulta de él, usemos de un órgano, un piano ú otro instrumento de sonidos fijos, y busquemos en sus teclas el sonido que parezca idéntico en cuanto al tono grave ó agudo al que nos ha dado el sonómetro. Si este unísono no se encuentra con toda la exactitud que exi-

(*) Para que el sonido obtenido de este modo sea puro, y de una intensidad sensiblemente igual en las esperiencias sucesivas, es preciso que la manera de producir el sacudimiento sea constante, instantáneo, y de tal naturaleza que no incomode de ningun modo á la libertad de las vibraciones; y nada llena mejor estas condiciones que el separar un poco la cuerda de su estado de equilibrio, no con el dedo, sino con un pedacito de piel de búfalo, y abandonarla en seguida á sí misma.

ge el oido, nos detendremos en el sonido mas inmediato, y modificaremos la tension de la cuerda, ó la longitud del tubo que le produce hasta llegar á obtener el sonido unísono con todo rigor. Entonces tendremos seguridad de poder reproducir idénticamente el sonido ocasionado por la vibracion de la cuerda entera del sonómetro, tocando la tecla que hemos determinado; y quedará, pues, este sonido fijo para siempre.

Coloquemos ahora la tenacilla ó el puentecillo precisamente en medio de la cuerda sin alterar el peso del sonómetro, fig. 8; y hagamos vibrar separadamente cada una de estas mitades. Encontraremos que estan unísonas si la cuerda es bien igual y homogénea en toda su longitud; pero que el sonido dado por cada una de ellas es diferente del que nos dió la cuerda entera; y será lo que se llaen música *octava aguda*; y como esta relacion se verifica siempre cualquiera que sea la longitud, grueso y tension de la cuerda que se divida, es preciso inferir que cuando un sonido ó la octava aguda de otro corresponde á un número de vibraciones doblemente rápidas, de suerte que designando cada sonido por el número de vibraciones que le corresponde, el primero será 1 y el segundo 2, y si se quiere llamar al sonido fundamental do_1, su octava será do_2, y tendremos

El sonido fundamental. . . . $do_1 = 1$
Su octava aguda. . . . . . . $do_2 = 2$.

Sin embargo, al usar de estas espresiones será preciso acordarse siempre que no hacen mas que *designar* los sonidos, y *clasificarlos* segun uno de sus caractéres esenciales; pero que no *miden* ni *espresan* las *sensaciones* que estos sonidos escitan en nosotros.

Coloquemos ahora el puente ó tenacilla del sonómetro á la tercera parte de la cuerda, como re-

presenta la fig. 9, y hagamos vibrar la parte mas pequeña; entonces, segun la teoría, el número de vibraciones de esta parte será triple del que corresponde á la cuerda entera, es decir, igual á 3 n; y por consiguiente el sonido que produzca será mucho mas agudo que el sonido fundamental do_1. Para acercarse este nuevo sonido al tipo primitivo, tomemos su octava grave, que nos darán segun la esperiencia anterior, y la observacion directa, los otros dos tercios de la cuerda. El número de vibraciones de esta parte será entonces dos veces menor, ó $\frac{3}{2}$ n, es decir, que será $\frac{3}{2}$ del número de vibraciones de la cuerda entera; y el sonido que produzca será con relacion al primer *do*, lo que se llama en música *quinta aguda*, y se espresa por *sol*. Asi, siguiendo la misma anotacion que antes, tendremos $sol_1 = \frac{3}{2}$; y por consiguiente la octava aguda de sol que nos dió al principio el tercio de la cuerda será *sol*, y tendremos $sol_2 = 3$.

Continuando del mismo modo, coloquemos el puentecillo á la cuarta parte de la longitud de la cuerda, fig. 10, y hagamos vibrar aisladamente esta cuarta parte. El número de sus vibraciones será cuadruplo del de la cuerda entera, y el sonido que resultará será la octava de do_2, ó la doble octava de do_1, que designaremos por do_3; y pues, segun nuestra anotacion anterior do_1 es 1, tendremos $do_3 = 4$. La otra parte de la cuerda que comprende los $\frac{3}{4}$ de su longitud, puesta en vibracion, dará en cada segundo un número de vibraciones igual á $\frac{4}{3}$ de do_1, y el sonido que resulte será con relacion á do_1, lo que se llama en música *cuarta aguda*, y se espresa por *fa*: tendremos, pues, segun nuestra anotacion $fa_1 = \frac{4}{3}$.

Si continuamos dividiendo la cuerda en un número creciente de partes iguales, hallaremos sucesivamente todos los sonidos empleados en la música; pero limitándonos aqui á los que componen la serie de sonidos que se llama *escala*, tendremos los valo-

res siguientes, tomando por unidad el número de vibraciones que corresponden al sonido fundamental do_1.

Designacion de los sonidos por letras (*).	C	D	E	F	G	A	B	C
Nombres de los sonidos.	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
Número de vibraciones en un mismo tiempo.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Longitud de las cuerdas que los producen.....	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$

Si se reunen sobre una caja sonora ocho cuerdas de la misma naturaleza, del mismo grueso, estendidas por pesos iguales, y cuyas longitudes esten en razon inversa del número de oscilaciones que corresponden á cada sonido: estas cuerdas al vibrar darán los siete sonidos de la escala, como se puede comprobar fácilmente por la esperiencia, y si se emplea un número mayor de cuerdas, cuyas longitudes sean sucesivamente dobles, cuadruplas, octuplas de las anteriores, se obtendrán nuevas escalas, cuyos sonidos serán la octava, la doble ó la triple octava de la primera. En algunos instrumentos de música, como el piano y el clave, se tocan las cuerdas de diferentes octavas con martillitos puestos en movimiento por medio de pequeñas palancas de madera, llamadas *teclas*, sobre las cuales se colocan los dedos. Las teclas que corresponden á una misma escala estan colocadas unas al lado

(*) Las indicaciones por letras se emplean en los órganos, poniéndolas sobre sus cañones. Para acordarse fácilmente de su correspondencia con los nombres de las notas, basta tener presente que el *la*, cuyo nombre acaba en *a*, está designado por esta letra; y que en seguida los sonidos colocados en el órden de la escala corresponden á la serie de las letras del albafeto, de este modo:

la	*si*	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*
A	B	C	D	E	F	G

de otras; asi la tecla que da el sonido *re*$_1$, es la segunda ó la inmediata á *do*$_1$, la que da *mi*$_1$, es la tercera, la que da *fa*$_1$ es la cuarta, la que da *sol* es la quinta, y asi sucesivamente. Se acostumbra designar las notas por el sitio que ocupan despues de *do*; por esto se dice que *mi*$_1$ es la tercera de *do*$_1$; *fa*$_1$ es la cuarta; *sol*$_1$ la quinta, *la*$_1$ la sesta, *si*$_1$ la séptima, y asi sucesivamente; de suerte que si se dice, por ejemplo, la décimaséptima mayor de *do*$_1$, quiere decir, la décimaséptima tecla despues de *do*$_1$, que corresponde á la doble octava de *mi*$_1$ ó á *mi*$_3$.

Hasta aqui solo hemos hecho variar la longitud de la cuerda; haciendo ahora variar la tension representada por el peso P, podremos tambien doblar, triplicar, y en general multiplicar el número de vibraciones en la proporcion que queramos. En este caso, cuando el cálculo nos indique un número de oscilaciones dado por alguna de las oscilaciones anteriores, deberemos encontrar el mismo sonido, si es cierto que respecto á la misma especie de cuerda, el sonido no depende sino del número de vibraciones. En efecto, esto es lo que se verifica exactamente. Si la cuerda estirada por el peso P da el sonido *do*$_1$, estirada por el peso 4 P dará sonido *do*$_2$; estendida por el peso $\frac{9}{4}$ P dará el sonido *sol*$_1$ con el peso $\frac{25}{16}$P dará *mi*$_1$, y asi sucesivamente. En general, siendo la misma la longitud, el número de vibraciones es como la raiz cuadrada de los pesos.

Esto es todo relativo al sonido principal dado por cada cuerda segun su longitud y el peso que la mantiene estirada; pero escuchando con atencion el sonido producido por una cuerda metálica, se reconoce en él fácilmente la mezcla de otros muchos sonidos mas agudos que el fundamental. Por ejemplo, si este está representado por *do*$_1$, se oyen muy distintamente: *sol*$_2$ y *mi*$_3$, es decir, la octava de su quinta, y la doble octava de su ter-

cera, que respectivamente se representan con los números 3 y 5 siendo 1 el sonido fundamental. Un oido ejercitado percibe aun la octava de do_1 representada por el número 2, y la doble octava, cuyo valor es 4; de suerte que generalizando este resultado, se encuentra que la cuerda hace oir al mismo tiempo, pero con una intensidad contínuamente decreciente, los sonidos 1, 2, 3, 4, 5 &c., es decir, todos los que puede dar, subdividiéndose en un número entero de partes. Esto ha hecho dar á estos sonidos el nombre de *armónicos*, porque la palabra armonía significa la resonancia simultánea de muchos sonidos, cuyo conjunto agrada al oido; y nada complace mas que la de los sonidos que forman la serie de los números naturales 1, 2, 3, 4, 5 &c. Para que su coexistencia en la cuerda vibrante sea mas fácil de reconocer, debe hacerse la esperiencia con una cuerda bastante gruesa y larga para que el sonido fundamental do_1 sea grave é intenso, lo cual se consigue bastante bien con las cuerdas mas gruesas de un violon. Conmoviendo fuertemente una cuerda asi, por un golpe de arco bien sostenido, y abandonándola á sí misma, el oido menos ejercitado oye distintamente los primeros términos de la serie de los sonidos armónicos; y habituándose á distinguir de este modo los sonidos simultáneos, se llega á notarlos en todas las cuerdas de los instrumentos de música.

Siendo constante la tension en los referidos casos, la produccion simultánea de todos estos sonidos solo puede verificarse por una division espontánea de la cuerda que se coloca de modo que pueda darlos todos á un tiempo. Esto es lo que sucede en efecto; y estos sonidos no se incomodan unos á otros, porque es un principio general de mecánica, que el aire, el agua, y cualquiera fluido material, puede recibir á un mismo tiempo varios movimientos muy pequeños, sin que se confundan sus efectos. Esto se llama el principio de la coexistencia de las oscila-

ciones pequeñas: en cuanto al pormenor de su aplicacion á este caso, véase el tratado general.

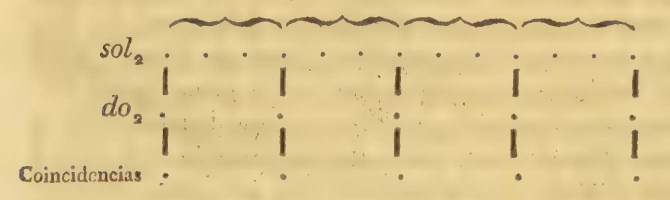
Esta coexistencia de movimientos en una misma cuerda puede hacerse conocer por la esperiencia: por ejemplo, si se quiere producir una division sencilla en dos partes, fig. 11, no hay mas que colocar en N, en medio de la cuerda un obstáculo ligero, tal como el contactó del dedo, ó un puentecillo de carton que impida que este punto se separe del eje, sin impedir la transmision del movimiento de una mitad de la cuerda á la otra. Pasando entonces un arco sobre la primera mitad A N de modo que la haga vibrar, dará el sonido que corresponde á su tamaño, esto es, la octava del sonido fundamental que daria la cuerda entera; pero al mismo tiempo la otra mitad se pondrá tambien en movimiento por comunicacion, y oscilará del mismo modo que la primera. Para hacer visible este movimiento, bastará colocar sobre esta segunda parte pedacitos de papel muy pequeños, puestos como á caballo sobre la cuerda; porque al momento que la primera mitad entre en vibracion por la agitacion que se le dé, los pedacitos de papel, colocados sobre la otra parte, se agitarán vivamente, y aun podrán saltar á lo lejos. Se puede repetir esta misma prueba dividiendo la cuerda en un número cualquiera de partes iguales, fig. 12; y colocando papelitos de dos colores distintos, unos en medio de las partes vibrantes, y otros en sus estremos, el sacudimiento propagado hacer caer solo los primeros, permaneciendo sobre la cuerda los segundos. Esta esperiencia agradable es de Sauveur, y sale bien, principalmente con las cuerdas de tripa que llaman *hiladas*, porque estan arrolladas al rededor de un hilo metálico muy fino para darlas mayor masa.

Tambien se puede escitar la division de una cuerda haciendo vibrar junto á ella otra cuya velocidad de vibracion sea á la suya como la unidad

á un número entero. Si esta segunda cuerda da por ejemplo el sonido do_2 y la primera do_1, cuando se haga resonar aquella, esta se pondrá tambien en movimiento, y se dividirá naturalmente en dos partes iguales, separadas por un nudo de vibracion. Esto se podrá reconocer ya escuchando con atencion el sonido de esta cuerda, ya tocándola y sintiéndola temblar, ya en fin colocando pedacitos de papel sobre las partes que deben moverse, y sobre el nudo que debe permanecer inmóvil. Aqui la transmision del movimiento se hace verosimilmente por medio del aire, que agitado por la primera cuerda, agita á su turno á la segunda, y la comunica la especie de vibraciones que él mismo ejecuta. Este fenómeno se presenta en la música contínuamente: cuando se pasa el arco por la cuerda do_1 de un violon, que hace oir al mismo tiempo sus armónicos do_2 y sol_2, la cuerda sol_1 del instrumento se divide visiblemente en dos partes iguales, cada una de las cuales vibra al unísono de este sol_2. Una vara elástica que vibra, hace vibrar tambien las cuerdas metálicas tirantes que estan unísonas con ella; un violin bien tocado, hace vibrar las cuerdas análogas de una guitarra, y una flauta produce el mismo efecto, aun cuando la guitarra esté colocada sobre un cuerpo blando; en todos estos casos el sonido se comunica por el aire. Pero para que se establezca un movimiento sensible, por efecto de ondulaciones tan débiles, es preciso que los sacudimientos sucesivos que sufra la segunda cuerda conspiren todos á hacerla mover; es necesario, pues, que pueda tomar un movimiento de vibracion que se ajuste periódicamente con la vuelta del aire que la hiere. Esto es lo que se verifica cuando la segunda cuerda es un multiplo exacto de la primera puesta en vibracion; pero igualmente se verificaria si fuese un submultiplo, es decir, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ &c. Entonces, espresando el sonido de la primera cuerda por $do_1 = 1$, el de la segunda cuerda se-

ria siempre uno de sus armónicos 2, 3, 4, 5 &c.; y como todos estos armónicos resuenan al mismo tiempo en la primera cuerda, cada uno de ellos debe poner en movimiento la cuerda aislada que le corresponde.

Tambien se pueden escitar, y por decirlo asi, crear nuevos sonidos por el concurso de muchos sin ninguna comunicacion de movimiento, y aun sin emplear cuerpo alguno que dé inmediatamente estos sonidos, lo cual parecerá mas estraordinario. Para comprobar esta especie de paradoja es preciso formarse la idea mas estensa de lo que constituye el sonido respecto á nosotros. En general, siempre que el oido recibe la impresion seguida de una serie de pulsaciones bastantemente rápidas, esperimenta la sensacion de un sonido, cuya naturaleza determina por la rapidez con que se suceden sus vibraciones. Supongamos ahora que se hacen resonar á un mismo tiempo por dos cuerdas, colocadas una junto á otra, los dos sonidos do_2 y sol_2 de una misma octava. El número de vibraciones de estos sonidos en un mismo tiempo es 2 y 3: habrá, pues, épocas en que llegarán juntos al oido, y otras en que llegarán separados. Para distinguirlos representemos los instantes que corresponden á los medios de las vibraciones por puntos colocados á igual distancia sobre una misma línea.



Las épocas de coincidencia son evidentes; los intervalos que las separan son dobles de los que separan las vibraciones de do_2; y el oido será afectado por su vuelta periódica, como lo seria por un sonido do_1, una octava mas grave que do_2. En

efecto sucede asi; y el descubrimiento de este hermoso fenómeno se atribuye al célebre músico Tartini. Para observarle es preciso que los dos sonidos sean perfectamente justos y puedan sostenerse algun tiempo sin ninguna alteracion; de otro modo, no siendo regular la vuelta de sus coincidencias, no podria producir el efecto de un sonido apreciable. Esta esperiencia se ejecuta con la mayor facilidad en el órgano, cuyos sonidos reunen á una exactitud mecánica la ventaja de poderse prolongar indefinidamente; y ofrece una prueba segura y usada hace mucho tiempo para saber si este instrumento está exactamente templado. En efecto, se puede determinar por un cálculo muy sencillo cuál debe ser el sonido resultante, conociendo los dos componentes. Esta produccion de los sonidos resultantes tiene un gran número de aplicaciones en los efectos de la armonía.

Cuando los dos sonidos que se producen juntos de este modo estan tan próximos uno á otro, que la coincidencia de sus vibraciones es muy rara, ó cuando siendo distantes estan tomados en octavas tan graves, que su coincidencia se verifica menos de 32 veces cada segundo, el sonido resultante se convierte en golpes distintos separados por intervalos sensibles, como se puede comprobar fácilmente en el órgano, y en general en cualquiera instrumento que dé sonidos fijos. Eligiendo en el órgano, por ejemplo, teclas correspondientes á las octavas mas graves, la serie de sonidos se parece á un redoble de tambor cuyos golpes son mas ó menos precipitados. Este resultado confirma lo que hemos dicho al principio de este libro, que un sonido sostenido y uniforme no es otra cosa mas que una serie de golpes que se suceden con intervalos iguales, y con una rapidez suficiente.

Hasta aqui no hemos considerado sino las vibraciones transversales de las cuerdas elásticas; pero estas pueden vibrar tambien de otro modo, á saber,

alargándose y acortándose alternativamente. Al tratar de la elasticidad de las cuerdas tiradas por pesos, hemos visto que procuran siempre volver sobre sí mismas, y que en efecto vuelven á sus dimensiones primitivas luego que se debilita ó suprime la fuerza que las contenia. Se puede, pues, concebir que si una cuerda, estendida ya por una fuerza cualquiera entre dos puntos fijos, se la frota en su direccion longitudinal, deberán escitarse en ella vibraciones de esta naturaleza. El modo mas sencillo de verificarse este movimiento es el que representa la fig. 13; la cuerda entera tiene un movimiento alternativo, ya hácia el uno, ya hácia el otro estremo: cuando va de A hácia B se contrae en B, y se alarga en A; y lo contrario sucede cuando en la siguiente oscilacion va desde B hácia A. En uno y otro caso el medio de la cuerda no sufre dilataciones ni condensaciones; pero precisamente allí es mas rápido que en ningun otro punto el movimiento de traslacion de las partículas, asi como en los dos estremos fijos es absolutamente nulo este movimiento. El segundo modo de vibraciones longitudinales es el que representa la fig. 14, en que la cuerda se divide en dos partes iguales y consonantes entre sí, que sufren movimientos alternativos constantemente opuestos en direccion, y separados por un nudo de vibracion N, que permanece inmovil. En fin, se pueden concebir otras maneras de vibracion, en que se divida la cuerda en tres partes, como en la fig. 15, ó en un número mayor de partes. Para producir estos sonidos es necesario frotar la cuerda longitudinalmente con un arco de violin muy inclinado á la direccion de su longitud, y aplicado sobre partes que deban ponerse en movimiento; ó bien se la puede frotar con el dedo ú otro cuerpo flexible cubierto de polvo de colofonia. Para producir las divisiones en partes alícuotas es preciso tocar al mismo tiempo un nudo de vibracion. Los sonidos obtenidos de este modo estan entre sí en la misma razon que los de las vibracio-

nes transversales, es decir, que respecto á cuerdas de la misma naturaleza, é igualmente estendidas, son recíprocamente proporcionales á la longitud de la parte vibrante, y por consiguiente si la cuerda se divide sucesivamente en 1, 2, 3, 4 . n partes, los sonidos siguen la serie de los números naturales 1, 2, 3, 4 . . n. Pero estos sonidos son mucho mas agudos que los de las vibraciones transversales porque la elasticidad propia de la materia que procura conducir las partículas á su primera posicion de equilibrio es mucho mas poderosa que la tension producida por un peso en las vibraciones transversales. Asi es necesario emplear cuerdas muy largas para hacer bajar los sonidos á un tono tal que se puedan apreciar.

Estas vibraciones longitudinales de las cuerdas tienen una evidente analogía con las contracciones y dilataciones alternativas, cuya existencia en las ondas aéreas hemos reconocido; y muy pronto veremos que ofrecen una representacion exacta del modo con que vibran las columnas de aire en los instrumentos de viento.

Yo creo que esta especie de vibraciones no ha sido estudiada hasta ahora sino por Chladin, quien ha empleado cuerdas hasta de 48 pies de longitud.

CAPITULO IV.

Aproximaciones usadas en la música para espresar los intervalos de los sonidos. Necesidad de alterar la exactitud de estos intervalos en los instrumentos que dan sonidos fijos: reglas de esta proporcion.

Las necesidades de la música han hecho intercalar en los intervalos de la escala cierto número de divisiones mas pequeñas que debe conocer el físico, pues de otro modo no podrá valuar ni enunciar de un modo inteligible las diferentes y casi innumera-

bles especies de sonidos que presentan las vibraciones de los cuerpos.

Ante todo recordemos los sonidos que componen la escala, uniendo sus valores espresados por el número de vibraciones que dan.

Nombres de los sonidos.	*do*$_1$	*re*$_1$	*mi*$_1$	*fa*$_1$	*sol*$_1$	*la*$_1$	*si*$_1$	*do*$_2$
Longitud de las cuerdas que los producen.	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	$\frac{1}{2}$
Número de sus vibraciones en igual tiempo.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Valor de los mismos números endecimales.	1	1,125	1,25	1,337	1,5	1,667	1,875	2

Determinados de esta manera los siete sonidos de una escala, si se multiplica ó divide sucesivamente por 2, 4, 8, 16, &c. el número de vibraciones que dan, se tendrán determinados los sonidos de las demas escalas comprendidas en octavas mas agudas ó mas graves; y por consiguiente se tendrá una serie indefinida donde colocar cualquiera sonido, cuyo número de vibraciones se dé.

Sea, por ejemplo, el sonido 18, es decir, aquel cuya cuerda hace 18 vibraciones mientras hace una *do*^{1}; como este número es mayor que 2, el sonido pertenece á alguna de las octavas superiores; le dividiremos sucesivamente por 2 cuantas veces sea necesario para que quede comprendido en la primera escala, es decir, entre 1 y 2; la primera division le reducirá á 9, la segunda á $\frac{9}{2}$, la tercera á $\frac{9}{4}$, y la cuarta á $\frac{9}{8}$, que se halla comprendido entre 1 y 2, y corresponde exactamente á *re*$_1$; de donde concluiremos que el sonido 18 es igual á $\frac{9}{8}$, multiplicado por la cuarta potencia de 2, y por consiguiente es el *re* de la cuarta octava, sobre la que hemos tomado por fundamental, es decir, *re*$_5$.

Si el número de vibraciones dado fuese menor que uno, corresponderia á un sonido comprendido en octavas mas graves que la primera; y para con-

ducirle á esta por medio del cálculo seria preciso multiplicarle por 2 una ó muchas veces, hasta que estuviese entre 1 y 2. Tomemos, por ejemplo, el sonido, cuyo número de vibraciones es $\frac{1}{12}$; multiplicado una vez por 2, será $\frac{1}{6}$, la segunda será $\frac{1}{3}$, la tercera llegará á ser $\frac{2}{3}$, y en fin, á la cuarta tendremos $\frac{4}{3}$, que corresponde exactamente al *fa*; de donde inferiremos que el sonido propuesto es el *fa* de la cuarta octava bajo la fundamental, y le podremos representar por fa_4.

Pero no siempre sucederá que el número propuesto venga á coincidir con alguno de los de la serie; en este caso el sonido que designa será intermedio entre los dos términos á que mas se acerca. Consideremos, por ejemplo, el sonido, cuyo número de vibraciones fuese $\frac{6}{5}$ ó 1,2; hallándose este número comprendido entre 1 2, es claro que corresponde á la octava fundamental; pero no coincide con ninguno de los sonidos de la gama, y solo sí nos espresa su valor en decimales, que es un poco mas grave que mi_1.

La multiplicidad de tales casos ha hecho intercalar entre los sonidos primitivos de la escala subdivisiones, si no suficientes para representar todos los sonidos posibles, lo cual exijiria que fuesen infinitas, á lo menos lo bastante aproximadas para que los sonidos que se hallen entre ellas se separen un intervalo tan pequeño que puede despreciarse en la práctica. Estas subdivisiones se llaman *sostenidos* y *bemoles*.

Se dice que una nota está en sostenido cuando su valor primitivo en la escala está multiplicado por $\frac{25}{24}$, lo cual la hace un poco mas aguda; y se dice que está en bemol cuando se ha hecho mas grave en la misma proporcion por medio del factor inverso $\frac{24}{25}$. Por ejemplo, si do_1 está espresado por 1 do_1 sostenido será $\frac{25}{24}$, y do_1 bemol será $\frac{24}{25}$. Del mismo modo, siendo mi_1 $\frac{5}{4}$, mi_1 sostenido será $\frac{125}{96}$, y mi_1 bemol $\frac{120}{100}$ ó $\frac{6}{5}$; que es precisamente el sonido que

nos habiamos propuesto en el último ejemplo, y cuyo valor decimal 1, 2 nos indicaba un sonido un poco mas grave que mi_1. El sostenido se indica por el signo *, y el bemol por *b*. En las piezas de música se colocan estos signos sobre la línea ó espacio en que se escribe la nota á que se aplican; mas cuando en la física se emplea para modificar notas aisladas se colocan á la derecha de estas y un poco mas elevado que ellas, á modo de un esponente. Asi diremos.

$do_1{}^{*} = \frac{25}{24}$; $do_1{}^{b} = \frac{24}{25}$; $mi_1{}^{*} = \frac{225}{96}$; $mi_1{}^{b} = \frac{6}{5}$.

Si se quieren realizar los sonidos indicados de esta manera, será necesario, como hemos hecho respecto á las notas naturales, tomar sobre la cuerda longitudes inversas al número de sus vibraciones. Asi, suponiendo que esta longitud sea 1 respecto al sonido do_1, será $\frac{24}{25}$, ó 0,96 respecto á do^{*}, $\frac{5}{6}$, ó 0,8333 respecto á mi^{b}, y asi respecto á los demas. La tension y la naturaleza de la cuerda se suponen siempre constantes en estas comparaciones.

La tabla siguiente ofrece una indicacion de todos los sonidos que componen una escala subdividida de este modo.

Número de vibraciones en un mismo tiempo.	Reduccion de estos números á decimales.	DETERMINACIONES usadas para espresar la relacion de cada sonido con do_1
do^{1} = 1	1,00000	*do-do* unisono.
*do** = $\frac{25}{24}$	1,04166	*do-do** semitono menor.
re^{b} = $\frac{27}{25}$	1,08000	*do-re*^{b} semitono mayor.
re = $\frac{9}{8}$	1,12500	*do-re* segunda mayor.
*re** = $\frac{75}{64}$	1,17187	*do-re** segunda superflúa.
mi^{b} = $\frac{6}{5}$	1,20000	*do-mi*^{b} tercera menor.
mi = $\frac{5}{4}$	1,25000	*do-mi* tercera mayor.
*mi** = $\frac{125}{96}$	1,30208	*do-mi*.*
fa^{b} = $\frac{32}{25}$	1,28000	*do-fa*^{b} cuarta disminuida.
fa = $\frac{4}{3}$	1,33333	*do-fa* cuarta.
*fa** = $\frac{25}{18}$	1,38889	*do-fa** cuarta superflua.
sol^{b} = $\frac{36}{25}$	1,44000	*do-sol*^{b} quinta disminuida.
sol = $\frac{3}{2}$	1,50000	*do-sol* quinta.
*sol** = $\frac{25}{16}$	1,56250	*do-sol** quinta superflua.
la^{b} = $\frac{8}{5}$	1,60000	*do-la*^{b} sesta menor.
la = $\frac{5}{3}$	1,66667	*do-la* sesta mayor.
*la** = $\frac{125}{72}$	1,73611	*do-la** sesta superflua.
si^{b} = $\frac{9}{5}$	1,80000	*do-si*^{b} séptima menor.
si = $\frac{15}{8}$	1,87500	*do-si* séptima mayor.
*si** = $\frac{125}{64}$	1,95313	*do-si**
do^{b} = $\frac{48}{25}$	1,92000	*do-do*^{b} octava disminuida.
do^{2} = 2	2,00000	*do*^{1}-*do*^{2} octava.

Por medio de estas intercalaciones podrá colocarse un sonido cualquiera, cuyo número de vibraciones con respecto á do_1 sea conocido, bien en la octava primitiva, bien en otra mas aguda ó mas grave, con un error siempre mas pequeño que el intervalo comprendido entre uno de los sonidos principales de la escala y su sostenido ó su bemol.

Para dar un ejemplo de esta colocacion, supongamos que el sonido propuesto sea aquel que produzca $\frac{125}{3}$ vibraciones ó 41,66667, comparando es-

te número á los términos de la serie 1, 2, 4, 8, 16 &c., que espresa la serie de los sonidos do_1, do_2, do_3 &c., veremos que cae entre 32 y 64, y por consiguiente corresponde á la sesta octava. Para compararle con el *do* de etla es preciso dividirle por 32, lo cual da el cociente 1,30208, cotejando este resultado con nuestra tabla, veremos que es exactamente igual á mi^*; y por consiguiente el sonido propuesto es el mi^* de la sesta octava sobre la fundamental, es decir, mi^*. Si hubiésemos hallado un cociente un poco mayor ó menor, pero tan poco, que pudiera referirse á la subdivision siguiente, hubiéramos podido indicar esta circunstancia por medio de los signos + ó — colocados al lado del * de este modo mi^* +; mi^* —; indicacion que muchas veces es necesaria en las investigaciones de la acústica.

Se comprende bien que recíprocamente un sonido enunciado de este modo se puede espresar en números; porque si se nos da, por ejemplo, $si^b\,\underline{3}$, veremos desde luego por el si^b que el número de vibraciones de este sonido es $\frac{9}{5}$ relativamente al *do* de lo octava á que pertenece; y el signo inferior —3 nos hace ver que esta octava es la tercera bajo do_1, respecto á la eual es $do_{\underline{3}} = \frac{1}{8}$; luego el número de vibraciones del sonido propuesto será $\frac{9}{40}$.

Habiendo determinado de este modo cierto número de términos en la serie indefinida de los sonidos, entre los cuales podamos colocar como por intercalacion todos los que se nos puedan dar, es preciso que examinemos á qué corresponden estos términos en la serie de nuestras sensaciones. Esto nos conduce á esplicar lo que se llama en general *intervalos musicales*.

Hemos dicho antes que cuando un sonido, por ejemplo, sol_1, hace $\frac{3}{2}$ vibraciones mientras otro do_1 hace una sola, sol_1 se llama la *quinta aguda de* sol_1; pero aqui no hay mas que una definicion de un carácter exacto, pero sin relacion ninguna con la sensacion que escita en nosotros el mismo sonido.

Sin embargo, es evidente que esta sensacion no es idéntica en ambos casos, puesto que distinguimos los sonidos. La diferencia que hallamos entre ellos, y que prueba el acto mismo que tenemos que hacer para pasar del uno al otro, constituye lo que se podria llamar *intervalo sensible* de los dos sonidos, el cual es evidentemente mayor ó menor segun se separa mas ó menos de la igualdad la relacion del número de sus vibraciones. Asi, cuando estos números son iguales respecto á dos sonidos, cualquiera que sea la rapidez absoluta de las vibraciones que los producen, nuestro oido reconoce el unisono exacto. Si en vez de ser iguales, los dos números estan entre sí en razon de 2 á 1, percibimos la sensacion de la octava; si estan en razon de $\frac{3}{2}$ á 1, ó de 3 á 2, tenemos la sensacion de la quinta; sea mas ó menos grave la octava en que se tomen estos sonidos. Estas esperiencias prueban que el *intervalo sensible* de los sonidos depende únicamente de la relacion del número de vibraciones que los producen. Asi se le puede *determinar* por esta relacion, ya que no se le pueda *medir*, con la certeza de que siempre que esta relacion sea la misma, será tambien idéntico el intervalo sensible.

De esta manera hemos indicado en la tabla anterior los intervalos comprendidos entre los sonidos sucesivos de la escala y el primer sonido do_1. He aqui ahora el valor y denominaciones de los intervalos consecutivos que estos sonidos forman entre sí.

Intervalos comprendidos entre los sonidos de la escala, comparados consecutivamente.	RELACION que los caracterizan.	DENOMINACIONES USADAS.
re - do	$\frac{9}{8}$	tono mayor.
mi re	$\frac{10}{9}$	tono menor.
fa mi	$\frac{16}{15}$	semitono mayor.
sol fa	$\frac{9}{8}$	tono mayor.
la sol	$\frac{10}{9}$	tono menor.
si la	$\frac{9}{8}$	tono mayor.
do - si	$\frac{16}{15}$	semitono mayor.

Estas denominaciones, lo mismo que las que hemos indicado anteriormente respecto á los otros intervalos, debe tenerse presente que no espresan relacion de sensaciones, sino solamente diferencias mayores ó menores. Asi, estando caracterizado el intervalo *re-do* por $\frac{9}{8}$ y el intervalo *mi-re* por $\frac{10}{9}$, que es una fraccion menor que la primera, se puede decir con seguridad que el primer intervalo es mayor que el segundo; lo cual justifica las denominaciones de *tono mayor* y *tono menor* que se les ha dado; pero no debe inferirse de aqui que la relacion de estos intervalos es igual á la de las fracciones que los espresan, pues nada hay en las consideraciones anteriores que nos conduzca á hacer tal deduccion; y no tardaremos en ver que seria muy inexacta. Del mismo modo, de que la relacion *fa-mi* ó $\frac{16}{15}$ se llama en música un semitono mayor, no debemos inferir que físicamente es la mitad del intervalo *re-do*, pues tambien seria falso. Solo vemos que su espresion numérica es menor que la totalidad de este intervalo; y esto nos conduce naturalmente á investigar si será posible efectuar rigorosamente esta comparacion.

Desde luego se pueden formar y señalar intervalos sensibles que sean exactamente dobles, triples, y en general múltiplos de un intervalo dado. Para esto basta multiplicar una, dos, ó muchas veces por sí misma la relacion numérica que determina este intervalo. Por ejemplo, sabemos que el sonido sol_1 está representado por $\frac{3}{2}$, cuando do_1 lo está por 1; y sabemos tambien que sol_1 es la quinta de do_1. Si se quiere doblar este intervalo no hay mas que buscar la quinta de sol_1, que será $\frac{3}{2}$ de $\frac{3}{2}$ ó $\frac{9}{4}$, y este producto caracterizará el doble intervalo que se busca. Este intervalo en la serie de los sonidos do_1-re_2, puesto que siendo do_1 re_2 es $\frac{9}{4}$.

Si se quisiese obtener un intervalo triple de la quinta seria necesario multiplicarle otra vez por $\frac{3}{2}$, lo cual daria $\frac{27}{8}$ ó $\frac{10}{3} \times \frac{81}{80}$; resultado que es casi igual al intervalo do_1 la_2, cuyo valor es $\frac{10}{3}$. Sin embargo, es un poco mayor, porque el factor $\frac{81}{80}$ es mayor que la unidad; pero la diferencia es muy pequeña, porque $\frac{81}{80}$ es muy poco mas grande que 1. Este factor $\frac{81}{80}$ se llama en música una *croma mayor*, y se dice que una nota está una croma mas alta ó mas baja, cuando el valor del sonido primitivo está multiplicado ó dividido por $\frac{81}{80}$.

Sabiendo producir de este modo la repeticion de los intervalos iguales por la multiplicacion sucesiva de las fracciones que los espresan; concibamos un intervalo tal, que repetido doce veces seguidas comprenda exactamente toda la octava. Esto exijirá que la fraccion que caracterice este intervalo, multiplicada doce veces seguidas par si misma, venga á dar por resultado 2, valor del intervalo de la octava, y por consiguiente que sea la raíz duodécima de 2. Un intervalo semejante dará en la octava las mismas subdivisiones que se emplean en la música práctica, en que contando cada tono mayor ó menor, como compuesto de dos semitonos de su especie, resulta la octava compuesta de 12 semitonos entre menores y mayores, desiguales entre sí. Esta desigualdad des-

aparecerá en nuestra nueva subdivision, en que el dozavo de la octava formará un verdadero *semitono medio*, cuya repeticion sucesiva, comparada con los verdaderos intervalos de la escala, nos indicará sus desigualdades. El cálculo de este semitono se efectúa con facilidad por las tablas de logaritmos, partiendo de la condicion que acabamos de enunciar; y se encuentra que el número que le espresa es 1,059463, es decir, que el sonido que le da hace $1 + \frac{59463}{1000000}$ vibraciones, mientras hace uno el sonido do_1; de donde se sigue, que si este sonido do_1 es producido por una cuerda, cuya longitud sea 1, nuestro dozavo de octava lo será por otra, cuya longitud sea $\frac{1}{1,059463}$ ó 0,943874, en razon inversa del número absoluto de vibraciones en igual tiempo; lo cual manifiesta cómo puede verificarse el sonido correspondiente á este intervalo. Tambien se pueden calcular por los logaritmos los valores sucesivos de sus diferentes potencias que corresponden á los intervalos dobles, triples &c. que resultan de su repeticion, é igualmente se podrá deducir la longitud de las cuerdas que producirian los diferentes sonidos que designan estos intervalos repetidos. Como estos resultados son de una aplicacion muy frecuente los presentaremos en la tabla que sigue:

NUMERO DE VIBRACIONES de los diferentes sonidos que componen la escala media, dividida en dos semitonos medios.		LONGITUD de las cuerdas que producirán estos sonidos.
do_1	= 1,000000	1,000000
do^* ó re^b	= 1,059463	0.943874
re	= 1,122462	0,890899
re^* ó mi^b	= 1,189207	0,840893
mi	= 1,125992	0,793701
fa	= 1,334840	0,749154
fa^* ó sol^b	= 1,414213	0,707107
sol	= 1,498306	0,667420
sol^* ó la^b	= 1,587400	0,629961
la	= 1,681793	0,594604
la^* ó si^b	= 1,781796	0,561230
si	= 1,887745	0,529730
do_2	= 2,000000	0,500000

Comparando los valores de los intervalos medios contenidos en esta tabla con los de los intervalos correspondientes de la tabla de la pág. 40 se notan al momento las diferencias que los distinguen. Por ejemplo, se halla que el intervalo verdadero do^1 re^1 espresado por $\frac{9}{8}$ ó 1,125, es mayor que el intervalo medio do^1 re_1 que está espresado por 1,122; y por el contrario, la cuarta verdadera do_1 fa_1 = 1.3333 es un poco menor que la cuarta media do_1 fa_1 = 1,33484. Pero la comparacion que podemos hacer por medio de estos números se limita á ese mas ó menos. Si queremos ir mas allá es preciso que sepamos determinar qué parte de intervalos medios contiene exactamente cada intervalo verdadero; ó mas generalmente, dada la relacion de vibraciones que caracteriza un intervalo cualquiera, es preciso saberle espresar en intervalos medios. Este problema se puede resolver exactamente en el caso de que el intervalo propuesto sea una repeticion exacta del

intervalo medio; porque entonces el número que le esprese deberá ser una potencia exacta de 1,059463; tal es, por ejemplo, la octava 2, que es exactamente su duodécima potencia; pero fuera de este caso, que es muy raro, el problema no se puede resolver sino por aproximacion (*); y el cálculo se hace muy fácilmente por medio de los logaritmos, que es como se han obtenido los resultados contenidos en la tabla siguiente, en que estan espresados los intervalos de los sonidos de la escala por el número de semitonos medios que contienen.

Intervalos verdaderos.	Número de semitonos medios que contienen.	Intervalos verdaderos.	Número de semitonos medios que contienen.	
do-do	0,000000	*re do*	2,039100	tono mayor.
do re	2,039100	*mi re*	1,824037	tono menor.
do mi	3,863145	*fa mi*	1,117313	semit. mayor.
do fa	4,980457	*sol fa*	2,039100	tono mayor.
do sol	7,019550	*la sol*	1,824037	tono menor.
do la	8,843587	*si la*	2,039100	tono mayor.
do si	10,882710	*do si*	1,117313	semit. mayor.
do$_1$ *do*$_2$	12,000000			
		Suma total.	12,000000	

Sostenido *do do** +0,706724
Bemol *do do*^{b} —0,706724

(*) Este problema se reduce en general á lo siguiente: conociendo el número que espresa un intervalo musical dado, hallar la potencia perfecta ó imperfecta á que es menester elevar 1,059463 para producir dicho número. El esponente de la potencia espresará el número de semitonos medios que contiene el intervalo propuesto. Para obtenerle es preciso dividir el logaritmo de la relacion que espresa este intervalo, pues el logaritmo de 1,059463, que es 0,0250858 en las tablas comunes.

Ejemplo: el valor de la cuarta *do fa* es $\frac{4}{3}$, y el logaritmo de $\frac{4}{3}$ es 0,1249387; dividiendo este logaritmo por 0,0250858, el cociente será 4,980456 en el número de semitonos medios que contiene la cuarta verdadera *do fa*.

Si se forma una escala completa que tenga ademas de sus notas naturales sus sostenidos y bemoles, repetida en muchas octavas consecutivas, mas agudas y mas graves, se obtendrá una serie numerosa, cuyos términos estarán bastante inmediatos para que se puedan colocar en ellos muchos sonidos. Sin embargo, en la pieza de música mas pequeña la sucesion de los intervalos porque pasa el canto conducirá siempre á sonidos, que no podrán colocarse exactamente en la serie, ni referirse á ninguno de sus términos, de modo que pueda tolerarse el error. Este inconveniente es inevitable, siempre que se quieren referir á la misma serie los sonidos contenidos en diferentes piezas de música, que parten de diferentes notas fundamentales. En este caso, si no se quieren multiplicar hasta el infinito los términos de la serie á que se han de referir todos los sonidos, es menester á lo menos colocar los términos á tal distancia, que un sonido cualquiera, producido por la melodía, se pueda colocar en ella con un error lo mas pequeño posible. Para esto, el partido mas sencillo es ordenar toda la serie por semitonos medios, segun las relaciones que antes hemos dado, y referir cada sonido al semitono medio á que mas se aproxime. Esto es lo que se hace en todos los instrumentos de sonidos fijos, como el piano, el órgano y el harpa. Estos instrumentos no tienen regularmente mas que doce teclas ó cuerdas por cada octava, de las cuales siete dan las notas principales de la escala, y las otras cinco, distribuidas entre las notas que distan un tono entero, producen una especie de semitono neutro, que sirve de sostenido á la nota que le antecede, y de bemol á la que le sigue. Ahora bien, cuando estos instrumentos estan templados por un buen afinador, con solas las luces que da la práctica diaria y la necesidad de obtener una ejecucion tolerable, respecto á todas las piezas que se pueden tocar, si se comparan sus sonidos uno á uno con el monocordio vertical de peso constante,

se halla que la serie de sus sonidos está exactamente repartida por semitonos medios, y con una exactitud, de que parece incapaz uno de nuestros órganos ó sentidos. Esta reparticion de error se llama en la música proporcion. Hay diferentes modos de obtenerla, y todos ellos tienen sus partidarios; pero la esperiencia que acabo de referir prueba que la proporcion igual es la que mejor conviene á los instrumentos que han de servir para tocar indiferentemente cualquiera pieza de música. Tambien se ve por lo que precede que la proporcion es propia de los instrumentos que no tienen sino un número limitado de sonidos; pues los que reunen infinitos, como el violin ó la voz, pueden siempre reproducir los sonidos sin alterarlos, y por consiguiente no tienen necesidad de variar cuando tocan solos ó con instrumentos de igual naturaleza que ellos. Mas no sucede asi cuando acompañan á instrumentos de sonidos fijos; porque entonces, para no causar con su exactitud una discordancia desagradable, se ven precisados á arreglarse á ellos.

CAPITULO V.

Vibraciones de las varas elásticas rectas y curvas.

Las varas elásticas *rectas*, por ejemplo, de acero ó de vidrio, pueden vibrar como las cuerdas transversal y longitudinalmente; pero las leyes de sus vibraciones son muy distintas de las de las cuerdas, porque en estas la tension obra únicamente en el sentido longitudinal, y en las láminas elásticas; y en general en todas las superficies rígidas, la fuerza de resorte obra sobre la misma curvatura. Ademas, bastando aqui esta fuerza para mantener estirada la lámina, no es necesario que esté sujeta por los dos estremos. Uno de ellos puede estar fijo y el otro libre, ó bien el uno puede estar apoyado contra un plano estando el otro fijo ó libre &c.

Todas estas combinaciones de circunstancias que pueden variarse segun se quiera, producen otras tantas especies de movimientos que la análisis calcula, y que la esperiencia comprueba exactamente.

Para verificar las esperiencias se debe hacer uso de varas rectas, cilíndricas ó planas; pero homogéneas y de una densidad uniforme. Cuando uno de sus estremos deba estar fijo, se le sujeta entre las bocas de un tornillo; pero si simplemente ha de estar apoyado contra un obstáculo, se le comprime contra un plano sólido. Para poner la vara en vibracion se la frota transversalmente con un arco de viólin ligeramente untado de colofonia; y si se quieren producir nudos de vibracion como en las cuerdas, se consigue oprimiendo ligeramente con el dedo el punto que se quiere reducir á la inmovilidad.

Cada una de estas disposiciones puede dar orígen, como en las cuerdas vibrantes, á muchas especies de vibraciones, segun la lámina forme una sola curvatura hácia el eje rectilíneo, ó le corte en varios puntos, figura 16 — 20. Pero la relacion de los sonidos con el número de estas curvaturas, es distinto que en las cuerdas vibrantes, á causa de la diferente accion de la fuerza elástica; y los sonidos se elevan con mucha mayor rapidez á medida que se subdivide la vara. La teoría determina estas relaciones, y la práctica las confirma exactamente. El pormenor de esta comparacion puede verse en el tratado general, pues aqui nos limitaremos á enunciar los principales resultados. Cuando se comparan entre sí varas de la misma materia, pero de diferentes longitudes y gruesos, el número de las vibraciones semejantes es proporcional al grueso de las láminas é inverso del cuadrado de su longitud. Si la longitud es igual, queda solo la proporcion del grueso, y resulta que las láminas mas gruesas dan sonidos mas agudos, lo cual es muy sencillo de entender, pues cuanto mas gruesas son, su fuerza de resor-

te obra con mayor energía para enderezarlas y acelerar sus vibraciones. En las varas de materia y figura semejante, y cuya longitud y grueso sean proporcionales, los sonidos estarán en razon inversa de las dimensiones homólogas, y por consiguiente en razon inversa de las raices cúbicas de los pesos, pues entonces los pesos son como los cubos de estas divisiones. En fin, puestas las láminas en vibracion transversal como hemos supuesto, y por los métodos que se han descrito, su ancho no influye de ningun modo sobre el sonido.

Las varas elásticas rectas pueden vibrar tambien como las cuerdas en la direccion de su longitud, y pueden como ellas tener un movimiento general dirigido alternativamente hácia sus dos estremos, ó dividirse en muchas partes escitadas por movimientos contrarios, y separadas por nudos de vibracion inmóviles. Las mismas figuras con que hemos esplicado las vibraciones longitudinales de las cuerdas servirán aqui igualmente, siempre que la vara tenga un mismo grueso en toda su longitud; pues entonces el grueso absoluto no tendrá ninguna influencia sobre este género de vibraciones, pues se podrá considerar como un conjunto de cilindros de igual naturaleza y longitud, colocados unos al lado de otros paralelamente, y cuyas capas transversales vibran con un movimiento simultáneo. Para producir esta especie de vibraciones cuando la vara es de madera ó metal, es preciso frotarla á lo largo con un pedacito de paño en que se haya puesto polvo de colofonia; pero si es un tubo de vidrio es mejor mojar el paño, y poner sobre el un poco de arena muy fina, ó polvo de piedra pomez. Para producir las divisiones en partes alicuotas es necesario como en todas las esperiencias anteriores tocar uno ó muchos nudos, y poner en movimiento una de las partes que se quieren hacer vibrar. El valor de los sonidos es lo mismo que en las cuerdas, recíprocamente proporcional á la longitud, y

todos sumamente agudos, comparados con los que producen las vibraciones transversales; por consiguiente es preciso usar de varas muy largas para poder apreciarlos. Por lo demas las circunstancias del movimiento inicial pueden variarse del mismo modo. El sonido fundamental mas grave, se obtiene fijando la vara en un tornillo por uno de sus estremos, y frotándola en toda su longitud para producir en ella el movimiento de vibracion mas sencillo. Este movimiento y todos los demas son exactamente semejantes á los de las cuerdas que hemos esplicado en el capítulo anterior.

La analogía de estas vibraciones de las varas cilíndricas con las de las columnas cilíndricas de aire, contenidas en los tubos de los instrumentos de viento, ha proporcionado el poder deducir del sonido que dan, la velocidad con que se propaga el sonido en toda su longitud por medio de la sustancia de que estan formadas. Mr. Chladin ha determinado de este modo la velocidad del sonido en un gran número de sustancias sólidas. Sus resultados son enteramente conformes con los que ha calculado por teoría Mr. Laplace; lo cual prueba que en la compresion de los cuerpos sólidos hay mucho menos desprendimiento de calor que en la compresion del aire.

En fin, las varas *rectas* son tambien susceptibles de otra especie de vibraciones que Chladin ha llamado *girantes*. Al esplicar los efectos de la torsion sobre los hilos elásticos, hemos visto que torciendo uno de estos hilos cierto número de grados, procura volver á su posicion primitiva, y vuelve en efecto por medio de una serie de oscilaciones luego que se le abandona á sí mismo. Hemos notado tambien, que siendo iguales las tensiones y las longitudes, la velocidad de las oscilaciones crece como el diámetro de los hilos. Luego si en lugar de un hilo muy delgado tomamos una vara cilíndrica bastante gruesa y rígida para mantenerse por sí

misma estando sujeta por uno de sus puntos, las oscilaciones resultantes de la torsion, podrán llegar á ser tan rápidas, que produzcan un sonido. De este modo se producen las vibraciones circulares de las varas.

Hasta aqui solo hemos considerado las varas elásticas rectas. Si se quieren emplear curvas, es claro que su forma influirá sobre la naturaleza de los movimientos de que son susceptibles, y por consiguiente sobre los sonidos que produzcan; todo lo cual puede verse estensamente en el tratado general. Aqui nos limitaremos á un solo ejemplo, á saber, el de las varas curvas llamadas *diapasones*, que sirven para arreglar el tono de los instrumentos de música. Su forma es la que representa la fig. 21; los dos brazos A C, B C, estan un poco mas separados por su base C, que por sus estremos A y B. Se introduce entre ellos un cilindro metálico F F, que puede entrar libremente en C, pero que no puede salir por A B, sino obligando á los estremos A B de la horquilla á separarse uno de otro. Luego que ha salido, estos estremos vuelven á su posicion con rapidez poniéndose en vibracion sonora; y como siempre que se les conmueve del mismo modo dan el mismo sonido, ofrecen un tipo invariable á que puede arreglarse el tono de cualquier instrumento. El instrumento tiene en su base una prolongacion M, que forma una especie de peana sobre la cual puede mantenerse recto, por cuyo medio se puede colocar despues de haberle puesto en vibracion sobre la caja del instrumento que ha de templarse, ó en general sobre una caja sonora que aumente su sonido por las vibraciones correspondientes. En este caso, cuando el pie del diapason es bastante largo, se le ve moverse sobre la caja por la reaccion de sus movimientos, y cuando estos choques reiterados se suceden con bastante rapidez, lo cual dependen del tono que espresa el diapason, resulta un sonido secundario apreciа-

ble, siempre mas grave que el sonido principal. El diapason simple no puede dar mas que una nota; pero se hacen diapasones compuestos de varias horquillas puestas unas al lado de otras sobre una misma caja sonora, y graduadas de modo que den los doce semitonos que componen una octava entera, segun el sistema de proporcion que quiera usarse. En este caso, cuando se quiere afinar un instrumento se empieza poniendo al unísono del diapason todos los sonidos de la octava correspondiente, y en seguida se arreglan á estas todas las demas notas por medio del intervalo de octava, que es muy fácil de conocer. De este modo se evita todo el trabajo que seria necesario para buscar directamente la proporcion en el instrumento que se quiere templar. Es cierto que este trabajo es muy pequeño, haciendo uso de un monocordio vertical, en que se puede tomar tambien exactamente cada tono por medio de una escala graduada; pero no todos los aficionados á la música estan en el caso de calcular los números de esta escala para cada sistema de proporcion, mientras le es muy fácil á cualquiera repetir los sonidos que da el diapason. Es digno de notarse que cuando estos diapasones estan construidos por profesores hábiles, estan exactamente arreglados á la proporcion igual, como se puede comprobar por medio del monocordio. Cuando se hace uso de ellos es preciso tener cuidado de hacer vibrar separadamente cada horquilla, y detener sus vibraciones tocándola, luego que se ha afinado la nota que representa, porque las vibraciones simultáneas de varias notas inmediatas, producirian horribles discordancias, y ocasionarian una especie de golpeo por su coincidencia accidental, como hemos esplicado en el capítulo precedente. El diapason compuesto ofrece tambien un medio muy simple de comprobar este fenómeno.

Se ha aplicado la vibracion de las varas elásticas á la construccion de un instrumento de música

llamado Trochleon. Le he descrito en el tratado general; y es tanto mas interesante, cuanto que reune la aplicacion mas completa de todos los resultados relativos á esta especie de vibraciones.

CAPITULO VI.

Vibraciones de los cuerpos rigidos ó flexibles, agitados en todas sus dimensiones.

Las vibraciones de las cuerdas y de las varas rectas son las únicas que hasta ahora han podido sujetarse al cálculo entre todas las de los cuerpos rígidos, de modo que se saquen de él las leyes de sus movimientos y las relaciones de los sonidos, y por lo mismo las hemos esplicado detenidamente. Respecto á los demas casos en que los cuerpos hayan de considerarse con todas sus dimensiones, sola la esperiencia puede guiarnos, y es quien ha hecho conocer un corto número de resultados generales que vamos á esplicar.

Generalmente cuando un cuerpo vibra se divide en cierto número de partes, que ejecutan separadamente sus vibraciones por medio de movimientos alternativos, sin incomodarse unas á otras; de donde resulta que los puntos donde se unen estas partes, no participan del movimiento de una ni otra, y por consiguiente permanecen inmóbiles como puede verse respecto á las superficies horizontales, poniendo sobre ellas arena muy fina y seca, que se acumula en las *lineas nodales*. Este ingenioso medio fue inventado por Galileo, como se puede ver en sus diálogos sobre el movimiento, y Mr. Chladin ha variado mucho sus aplicaciones La posibilidad de esta division y de esta alternativa de movimientos parece ser la condicion esencial de que dependen todas las maneras de vibrar de que es susceptible un cuerpo, segun las circunstancias iniciales en que se le coloca; y ya que no se puede calcular de antemano, á lo

menos despues de haberlas ejecutado una vez se puede reproducir exactamente, colocando ligeros obstáculos sobre las líneas nodales, y pasando un arco sobre una de las partes que deben entrar en vibracion. A pesar de todas estas precauciones, suele á veces quedar fallida la esperiencia, porque las mismas partes de las líneas nodales pueden pertenecer á muchos modos diferentes de vibracion; de suerte que para obtener particularmente el que se desea, es preciso hacer mas completa su indicacion, multiplicando la designacion de los puntos que han de permanecer en reposo. Para proceder bien, es preciso procurarse láminas de vidrio de diferentes formas, y de un grueso lo mas igual que sea posible. Por esta razon los cristales de vidriera son mas á propósito que los de luna de espejo, porque siendo estos mas gruesos, son susceptibles de mayor desigualdad de masa, á menos que no esten exactamente trabajadas, de modo que tengan sus superficies bien paralelas. Se aseguran estas láminas entre los dedos por uno de los nudos de vibracion, ó se aprietan con un tornillito de madera, fig. 22, y se ponen en movimiento frotando sus bordes, que deben estar esmerilados, con un arco; y para hacer sensibles las líneas nodales se esparce, como hemos dicho, sobre la lámina arena muy fina y seca.

En las láminas cuadradas, la fig. 23 es la que da el sonido mas grave; y se obtiene comprimiendo la lámina en el centro, y poniendola en movimiento cerca de un ángulo. Los radios de esta figura pueden mudarse algunas veces en cuatro curvas que unen los puntos medios de los lados de la lámina.

El sonido mas grave, despues del anterior, es la que da la fig. 24, en que las líneas nodales pasan por las diagonales del cuadrado; y se obtiene comprimiendo la lámina en el centro, y aplicando el arco en medio de uno de los lados. De esta manera es imposible que haya en este medio una línea de reposo como en el caso anterior; y esta línea va á terminar á

los ángulos á una y otra parte del punto conmovido. El sonido que se obtiene de este modo es la quinta aguda del precedente.

Variando los puntos de aplicacion del arco y la forma de las láminas se obtienen otras muchas figuras, por ejemplo, rectas paralelas, fig. 25, y tambien círculos é hipérbolas; pero lo que hemos dicho basta para hacer comprender la posibilidad de estos resultados. Si se desean mas por menores pueden verse en el tratado general.

Se han hecho tambien investigaciones sobre los sonidos que pueden producir las membranas estensibles colocadas de un modo plano, como las que forman los tambores de todas especies; pero hasta ahora se han obtenido muy pocos resultados seguros sobre este punto. La gran dificultad está en medir exactamente la tension, hacerla igual en todos sentidos, y conmover la membrana del mismo modo. Es preciso advertir que entonces la elasticidad obra sobre las fibras de la membrana por estensibilidad y no por resorte, es decir, que obra en la direccion de la superficie para contraerla ó estenderla, y no sobre su curvatura para enderezarla ó encorvarla mas.

No habiendo podido pasar de este punto en la teoría de las vibraciones de las superficies planas, es claro que con mas razon no se han podido determinar teóricamente las vibraciones de los cuerpos elásticos de forma mas complicada. Todo lo que se sabe hasta ahora sobre este punto se reduce á las condiciones de simetría que hemos establecido al principio de este capítulo. Entre la multitud de estos fenómenos, tan diversos como las formas de los cuerpos que los producen, se pueden distinguir las vibraciones de los vasos, cuyas superficies esteriores é interiores son producidas por la revolucion al rededor de un eje; porque este género de vibraciones se verifica en las campanas y en el instrumento de música llamado *armónica*, cuyo por menor he esplicado en el tratado general.

Todos los cuerpos vibrantes hacen oir simultáneamente, ademas de su sonido fundamental, una serie infinita de sonidos de una intensidad gradualmente decreciente. Este fenómeno es semejante al de los sonidos armónicos de las cuerdas; pero la ley de la serie de estos sonidos es diferente segun las diversas formas de los cuerpos. ¿No será acaso esta diferencia la que produce el carácter particular del sonido que ocasiona cada forma, llamado calidad, que hace que el sonido de una cuerda y el de un vaso no produzcan en nosotros la misma sensacion? ¿No será la degradacion de intensidad de los armónicos de cada serie lo que nos hace tener por agradables ciertos acordes, que no sufririamos si fuesen producidos por sonidos iguales? ¿Y la voz particular de cada sustancia, por ejemplo, de la madera ó del metal, no provendrá del esceso de intensidad de tal ó tal armónico?

CAPITULO VII.

De los instrumentos de viento.

Los instrumentos de viento se componen generalmente de tubos rectos ó curvos, en que se pone en movimiento el aire en la direccion de su longitud por varios métodos. Estas vibraciones, comunicadas al aire esterior, producen en él un sonido, que llega á ser apreciable cuando son bastante rápidas. Asi en los instrumentos de viento el cuerpo sonoro no es el tubo, sino la columna de aire que contiene; y su teoría es exactamente igual á la de las vibraciones longitudinales de las cuerdas, de que hemos tratado en el capítulo 3.º

Para conmover la columna de aire encerrada en un tubo de modo que pueda producir un sonido es menester no impelirla ó comprimirla toda entera, pues en este caso no haria mas que moverse paralelamente á sí misma, ó condensarse en un espacio mas

pequeño; sino que es menester escitar en uno de sus puntos, por ejemplo, en un estremo, una rápida sucesion de condensaciones y dilataciones alternativas, como las que resultarian de las idas y venidas de un cuerpo sólido puesto en vibracion. Estos movimientos alternativos, comunicados á la columna de aire, la hacen oscilar en la direccion de su longitud, y escitan en ella hondas sonoras, semejantes á las que hemos esplicado al tratar de la propagacion del sonido.

El medio mas sencillo de producir esta conmocion consiste en soplar en el tubo, de modo que una lámina de aire delgada puesta en movimiento con rapidez venga á quebrarse contra el corte de sus bordes; asi es, por ejemplo, como se silva en una llave hueca. En general, lo que se llama un *silvato* no es otra cosa que un tubo cilíndrico, figura 26, cuyo orificio está cortado en chaflan, teniendo delante un canalito muy estrecho, que sirve gara empujar el aire contra el corte de este chaflan. A medida que el tubo es mas largo, se hace mas grave el sonido producido de este modo. Una disposicion semejante se emplea en los cañones de órgano, llamados cañones *de boca*, representados en la figura 27. Se componen de un cuerpo cilíndrico B B H H, abierto ó cerrado por el estremo HH; al otro estremo hay una abertura lateral L L L, que se llama *boca*, porque es la que hace *hablar* al cañon. La parte B′ L que queda debajo de esta abertura está aplastada hácia dentro; formando un ángulo como de 22°,5 con el eje del sistema, y se llama el *labio inferior*; la parte opuesta B L, que queda sobre la boca, está dispuesta del mismo modo, y se llama el *labio superior*, que es donde viene á quebrarse la lámina de aire que pone la columna en vibracion. Para esto se adapta de un modo fijo al principio del cañon un cono hueco *bbc*, que se llama *pie*, porque sirve de pie al tubo cuando este está colocado verticalmente. Este cono está abierto en

su cúspide *c* para recibir el viento del fuelle, y cerrado en su base *bb* por una lámina metálica, que solo deja junto al labio inferior un pequeño intervalo longitudinal FF, que se llama la *luz*, y sirve para dar paso al aire; el canto de la lámina, que viene á parar á este intervalo, está afilado, y por lo mismo se le ha dado el nombre de *chaflan*. Dispuesto de este modo el aparato, se introduce aire en el pie del cañon que se escapa por la luz FF, formando una lámina muy delgada, y va á quebrarse contra el labio superior BL. Si la direccion de este labio está dispuesta de un modo conveniente con respecto á la lámina de aire, el que hay dentro del cañon se pone en vibracion sonora; pero si entra demasiado ó muy poco, el cañon suena mal ó no suena: se modifica, pues, poco á poco la inclinacion del labio, hasta que el cañon dé un sonido claro y limpio. La abertura mayor ó menor de la boca es tambien un elemento esencial que hay que considerar. Si la parte inferior del labio BL está demasiado lejos de la luz, la boca será demasiado ancha respecto á la cantidad de aire que da el fuelle, y el cañon sonará mal, ó acaso no sonará: si por el contrario, el labio BL baja demasiado, la abertura de la boca será muy estrecha, y el cañon *octaveará*, es decir, no dará el sonido fundamental correspondiente á su longitud, que es siempre el mas grave que puede dar, sino algun otro mas agudo. Se ve, pues, que es mas fácil remediar este inconveniente que el otro, pues basta acortar un poco el labio superior para conducirle al grado conveniente; asi es que siempre se hace mas bajo de lo que debe ser, y se corta poco á poco, hasta que el cañon da el sonido fundamental que le corresponde. La abertura de la boca, la de la luz y la longitud de los labios, estan sujetas á proporciones que la esperiencia ha hecho conocer, y que influyen mucho sobre la hermosura de los sonidos; tambien hay proporciones entre la longitud y grueso de los

tubos, que es preciso observar para que el cañon dé el mejor sonido posible. En general la laminita de aire que se dirige paralelamente á la columna contenida en el cañon, parece que produce sobre ella el mismo efecto que el frotamiento en las vibraciones longitudinales de las cuerdas. Para que produzca vibraciones que continuen de un modo regular, es necesario que hiera al labio superior con cierto grado de fuerza, proporcionado á la masa de aire que debe poner en movimiento, y por consiguiente tanto mayor cuanto mas ancho es el cañon. El soplo natural del hombre basta para hacer sonar los tubos pequeños, como por ejemplo la flauta. En este instrumento se dirige el viento con los labios de modo que vaya á herir oblicuamente el borde cortante de un agujero circular, que se llama *embocadura*; y asi es que no se consigue hacer sonar una flauta sino despues de haberse ejercitado algun tiempo; pero se conseguiria seguramente dirigiendo la lámina de aire de un modo á propósito, por medios mecánicos, que es lo que se verifica en el autómata tocador de flauta de Vaucauson. Este es igualmente el objeto de la configuracion particular que se da á la boca de los cañones de órgano, á quien se comunica el viento de una caja cerrada herméticamente, en que se condensa el aire con los fuelles, y que comunica con cada cañon por medio de una válvula que hace abrir la *tecla* á que corresponde el cañon. Este aparato se llama *fuelle*, y el sistema compuesto de las válvulas y la caja sobre que se colocan los cañones, se llama el *secreto*. Cuando se quiere estudiar á fondo la teoría de los instrumentos de viento, y analizar por medio de esperiencias exactas los curiosos fenómenos que presentan, es preciso tener un aparato semejante de pequeñas dimensiones, como los que se emplean en los órganos portátiles. Es necesario tambien tener una coleccion de cañones de diferentes longitudes y proporciones, hechos de madera, de metal, y aun de

simple carton, con algunos *pies* de madera sobre los cuales puedan colocarse succesivamente, como se ve en la fig. 28. Entonces se podrán estudiar los efectos de estos cañones y sus relaciones, colocándolos sobre el secreto, ya uno á uno, ó ya varios á un mismo tiempo. Luego que se haya obtenido el sonido de uno de ellos, se fijará buscando su unísono en un organito portatil, ó en un monocordio muy exacto, con lo cual se podrá continuar facilmente toda la serie de resultados. El órgano es muy ventajoso para este efecto, por razon de la permanencia de los sonidos, que hace su comparacion mas segura, y permite que se observen mas tiempo sus caractéres. Para poder graduar segun se quiera la fuerza del viento empleado en hacer sonar cada cañon, se puede levantar la hoja superior del fuelle por un contrapeso que se aumente ó disminuya segun se quiera, ya añadiendo nuevo peso, ya compriméndole con la mano, ó levantándole con un movimiento de palanca. La fig. 28 representa la disposicion mas sencilla de este regulador.

Ademas de los cañones de boca que acabamos de describir, se emplean otros en los órganos que no tienen ninguna abertura lateral; en los cuales hay en la parte interior y al estremo del portaviento un aparato vibratorio, llamado boquilla, que se pone en vibracion sonora inmediatamente por la corriente del aire. Estos cañones, cuyo mecanismo estudiaremos mas adelante, necesitan estar abiertos por su estremo para dar salida al aire; condicion que no es necesaria en los cañones de boca, que pueden estar abiertos ó cerrados, aunque estas dos disposiciones dan diferentes sonidos con una misma longitud.

Es muy facil demostrar que el cuerpo sonoro en estos cañones es verdaderamente el aire. Para esto se construyen varios tubos de igual longitud y diámetro; pero hechos de diferente materia, y se ajustan sucesivamente sobre un mismo pie, que lleva consigo su boca y su luz, y que no sirve mas

que para introducir la laminita de aire que produce las vibraciones. En este caso, soplando por el agujero *c*, se obtiene siempre el mismo sonido y la misma serie de sonidos, cualquiera que sea la materia del tubo, madera, cobre, plomo ó papel, con tal que sus paredes sean resistentes; pero es preciso tener cuidado de que en todos estos casos sea exactamente igual la distancia de la luz al estremo del tubo, pues de otro modo, teniendo diferentes longitudes la columna de aire, serian distintos los sonidos. Aqui no tratamos sino del tono de los sonidos que no depende de la materia de que está compuesto el tubo; pues la otra cualidad fisica de que hemos hablado antes, y se llama la voz, depende sin duda alguna de la materia, puesto que por ella se distingue el sonido de un tubo de vidrio del de un tubo de plomo ó de madera. Es muy dificil conocer la causa de este fenómeno, pero parece probable que depende del rozamiento del aire contra el interior de las paredes del tubo, ó acaso de una ligera vibracion del mismo tubo que modifica las variaciones de densidad en las diversas partes de cada onda sonora.

Despues de haber manifestado cómo se pueden obtener sonidos de los cañones de boca, y haber probado que en estas esperiencias quien vibra en realidad y produce los sonidos es el aire, nos falta examinar el modo de verificarse estas vibraciones, segun la naturaleza y propiedades fisicas del aire.

Consideremos un tubo cilíndrico AB, fig. 29, abierto en parte por su estremo A, y cerrado por el estremo B. Cuando se ponga el aire que contiene en vibracion sonora, como acabamos de esplicar, la laminita de aire que imprime el movimiento en A, agitará sin duda las primeras capas aéreas, segun leyes muy complicadas; pero muy pronto conoceremos por esperiencias exactísimas que esta complicacion solo se estiende á una distancia muy pequeña de la embocadura, desde cuyo punto, los

movimientos de las diferentes capas aéreas se hacen perfectamente regulares y semejantes, á lo menos cuando el sonido que resulta de ellas es constante y uniforme. Por esta razon, y para simplificar el problema, consideremos la corriente de aire que sirve de motor como obrando únicamente sobre una primera capa infinitamente delgada, mas allá de la cual el movimiento se comunique con regularidad hasta el estremo del tubo; y tambien supondremos que esta corriente se renueva continuamente en A con una velocidad y una densidad invariables; circunstancias que, segun la observacion, son indispensables para obtener un sonido sostenido y uniforme. Asi, en cualquiera modo de oscilacion que pueda tomar la columna de aire vibrante, la laminita de aire que llega á su orificio, se puede considerar que no hace mas que entrar un poco en el tubo y volver á salir alternativamente, sin sufrir condensacion ni dilatacion alguna.

Semejantes sacudimientos, repetidos periódicamente con una sucesion muy rápida, deberán, como las vibraciones de un cuerpo sonoro, escitar en la columna de aire ondulaciones de una longitud constante α, que partiendo del orificio se propagarán hácia el fondo del tubo con la velocidad ordinaria del sonido. Luego que lleguen al estremo B, reflejarán sobre sí mismas en la direccion B A, y continuarán propagándose en esta nueva direccion, exactamente como se hubieran propagado, si la columna de aire pasase del punto B. Ademas, no escitando estas dos series de ondulaciones directas y retrogradas en la columna de aire sino agitaciones muy pequeñas, sus influencias se sobrepondrán sin confundirse, y el estado de las capas de aire será el mismo que si cada instante se hallasen solicitadas por la suma de estas dos impulsiones. Para seguir la marcha de sus efectos, consideremos la vuelta de la primera honda, que suponemos producida por condensacion, y tomémosla en el momento en que su medio llega

exactamente al fondo del tubo. En este caso el principio O de esta onda, fig. 30, conducido por la reflexion, coincide en M con su fin O_1; y si para mayor sencillez suponemos estas dos mitades simétricas, la condensacion de las capas de aire M *m d*, en que se sobreponen, se hallarán dobladas exactamente. Asi, su intensidad es nula en M, á los estremos de la honda, y va aumentando hasta el fondo del tubo; pero no sucede lo mismo con las velocidades de traslacion; porque siendo estas iguales, y hechas contrarias por la reflexion en las dos mitades de la honda, se destruyen completamente en toda la estension B M. Este estado de equilibrio no dura mas que un instante; la segunda honda directa O_1 O_2, y la honda refleja OBO_1 continuan su marcha, y la capa aérea M, colocada á la distancia $\frac{1}{2}\alpha$ del fondo B, sufre á un mismo tiempo las dilataciones esparcidas por la una, y las condensaciones de la otra. Estas influencias son iguales, si todas las hondas son semejantes, como parece debe resultar de la constancia de la impulsion primitiva y de la permanencia del sonido; y en este caso sus efectos opuestos se destruyen exactamente, de manera que la capa de que se trata queda en su estado natural de densidad. Siguiendo del mismo modo la marcha sucesiva de las demas hondas, suponiendo que todas sean de una longitud constante α, y que produzcan alternativamente condensaciones y dilataciones, se verá que la capa aérea M, conserva siempre este estado invariable de densidad. Pero no por esto permanece inmóbil, porque la accion directa de la honda dilatante O_1 O_2 la conducirá en la misma direccion que la accion refleja de la honda condensante OO_1, y siempre sucederá esto mismo. Asi, siendo estas dos fuerzas iguales, y obrando en la misma direccion, el único instante de inmobilidad de la capa, será aquel en que las tales fuerzas sean nulas, es decir, aquel en que coincidan los estremos de las dos hondas. Esto sucederá periódicamente

en épocas separadas unas de otras por los intervalos T, 2 T, 3 T &c., siendo T el tiempo necesario para la propagacion de una honda de la longitud α.

Consideremos ahora otra capa aérea N_1, cuya distancia al fondo B sea α, es decir, igual á la longitud total de las hondas. Esta capa será conmovida desde luego por la primera honda condensante directa $O O_1$, y despues por la segunda honda dilatante $O_1 O_2$ que obrará aisladamente sobre ella, porque aun está atravesada por el último estremo O_2 de esta honda, cuando empieza á sentir la reflexion de la primera. En este instante, la capa N_1 se hallará en su posicion primera de equilibrio, y en su estado de densidad inicial. Ahora bien, desde este momento en adelante, si las hondas que se suceden tienen siempre una longitud igual, la capa N_1 no padecerá nunca ninguna dislocacion, porque sufrirá siempre á un mismo tiempo la accion opuesta de dos hondas de la misma naturaleza; pero que una será directa y la otra refleja. Quedará, pues, inmóbil entre las dos fuerzas de translacion de estas hondas, pero sufrirá la suma de las condensaciones ó enrarecimientos que produzcan. Lo mismo sucederá respecto á las capas aéreas N_2 N_3 &c. colocadas á las distancias 2 α, 3 α &c. del fondo B, como tambien á la capa de aire contigua á este fondo, porque el movimiento de translacion producido por cada punto de la honda directa, se destruye en ella inmediatamente por la reflexion.

Estendiendo sucesivamente estas consideraciones á todas las partes de la columna de aire, comprendidas entre el fondo del tubo y su orificio, se hallará que cuando sea completa la sobreposicion de los dos sistemas de hondas directas y reflejas, la columna se hallará constantemente dividida en cierto número de partes vibrantes, de una longitud α, cuyos estremos estarán fijos, siendo alternativamente contrarias las direcciones de sus movimientos. Esto es lo que representa la fig. 31 en que estan marcados con

flechas los movimientos de las capas aéreas; de suerte que habrá en una misma época condensacion en B, rarefaccion en N_1, condensacion en N_2, rarefaccion en N_3, y asi sucesivamente en toda la estension de la columna de aire puesta en vibracion. Pero es necesario tener presente que las condensaciones no deben limitarse únicamente á los puntos B, N_2, N_4.... ni las rarefacciones á los puntos N_1 N_3.... sino que el paso de uno de estos estados al otro será progresivo, de suerte que entre estos estremos, por ejemplo en M_1 M_2 M_3 se hallarán partículas que no esten condensadas ni enrarecidas, y que estos serán los puntos en que sea mas considerable el movimiento alternativo de traslacion.

Ahora bien, segun lo que hemos observado ya, este último estado debe ser precisamente el de la laminita de aire que comunica el movimiento á toda la columna, llegando al orificio del tubo. Será, pues, necesario que la longitud de las ondulaciones esté de tal modo proporcionada, que no haga variar la densidad de esta lámina; en cuyo caso sus movimientos serán los que exige su especie distinta de las demas capas, y no alterará la continuidad de estas. No hará mas, por decirlo asi, que comunicar al aire esterior todas las vibraciones que la columna ejecuta en el tubo; de donde nacerán en este aire esterior nuevas hondas sonoras de la misma longitud α, que llevarán á todas partes la sensacion del sonido correspondiente á su longitud.

Conforme á esta teoría, las diferentes maneras regulares de vibracion, que podrá tomar la columna de aire contenida en el tubo, estarán sujetas á dos condiciones únicas; á saber: que el fondo cerrado del tubo, sea un nudo de vibracion en que las partículas aéreas permanezcan inmóbiles; y el orificio abierto sea el medio de una honda que no sufra variacion ninguna de densidad. Estas dos condiciones derivadas del principio único de la cons-

tancia de las hondas, pueden verificarse de una infinidad de modos; de donde resultan otras tantas especies de vibraciones que indica la teoría, y que comprueba la esperiencia con la mayor exactitud.

La mas sencilla de todas estas especies es aquella en que la estension de las hondas es doble de la del tubo, de suerte que la mitad de una honda ocupa toda su longitud, fig. 32. Entonces la columna de aire oscila sin dividirse desde A hácia B, y desde B hácia A; la densidad en A es constante como debe ser, pero desde alli hasta el fondo B, van creciendo continuamente las contracciones ó dilataciones, verificándose las primeras cuando la columna se mueve hacia B, y las segundas cuando vuelve hácia A. Si se considera por el contrario el movimiento de traslacion de las partículas, se concibe que es siempre nulo en B, esto es, en el fondo cerrado del tubo en que estan detenidas por su resistencia, y desde este punto va aumentando la estension de las escursiones hasta el orificio abierto A, en que entra y sale alternativamente una porcion insensible de la corriente de aire que hace vibrar la columna.

No falta, pues, mas que determinar la duracion de esta especie de vibraciones, lo cual es sumamente facil; porque cuando una honda sonora se propaga por una columna de aire cilíndrica, y conmueve sucesivamente todas sus capas, hemos visto que su marcha es exactamente igual á la velocidad del sonido. Luego si la ida y vuelta formasen en nuestros tubos una longitud total de 1024 pies, la honda sonora igual á esta longitud, emplearia exactamente un segundo en propagarse, y asi no se verificaria en el tubo en cada segundo, sino una honda semejante. Se producirian dos si el duplo del tubo compusiese 512 pies, mitad de 1024; y en general si tuviese una longitud cualquiera l, se ocasionaria un número de hondas igual á 1024 dividido por el duplo de l, es decir $\frac{1024}{2l}$

Cuando se conozca la longitud del tubo no habrá mas que sustituirla en lugar de l y efectuar la division. El cociente espresará el número de vibraciones ejecutadas en un segundo por la columna aérea, con respecto á la especie de vibraciones que hemos considerado, en que la longitud de la honda sonora es $2l$. El sonido que resultará de ellas es, como pronto veremos, el mas grave que puede dar el tubo.

Despues de esta especie de movimiento, en que no hay nudo de vibracion, la mas sencilla es la que produciria en el tubo un solo nudo inmovil $N_1 N_1$ fig. 33, ademas del que siempre debe existir en el fondo del tubo. En este caso BN es igual á la longitud total de las hondas sonoras, y AN es la mitad de esta longitud. La suma de estas dos cantidades debe, pues, formar la longitud total del tubo l; por consiguiente la honda BN es las dos terceras partes de esta longitud ó $\frac{2}{3}l$, y el número de hondas que se suceden en un segundo es igual á 1024, dividido por $\frac{2}{3}l$, ó $\frac{3.1024}{2l}$. Las vibraciones producidas por esta especie de movimiento, son como se ve, tres veces mas rápidas que las primeras. Si el primer sonido se espresa por 1 y se le llama do_1, el segundo se espresará por 3, y será la octava de la quinta del sonido fundamental ó sol_2.

Supongamos ahora dos nudos de vibracion $N_1 N_1$, $N_2 N_2$, fig. 34, en que permanezcan inmoviles las partículas aéreas. En este caso las distancias BN_1, $N_1 N_2$, deberán ser iguales entre sí y á la longitud de la honda, y la última division hácia el orificio, deberá ser como anteriormente la mitad de esta longitud, en cuyo caso será necesario que la suma de estas cantidades, compuestas de cinco semihondas, forme la longitud total l del tubo; y por consiguiente la longitud de cada honda será $\frac{2}{5}l$, y el número de hondas en un segundo será 1024 di-

vidido por $\frac{2}{5}l$ ó $\frac{5.1024}{2l}$. Luego las vibraciones que resultan son cinco veces mas rápidas que las primeras, y siendo el sonido fundamental $do_1 = 1$, este se espresará por 5 y corresponderá á mi_3.

Continuando del mismo modo, se hallará que si el sonido fundamental, dado por la primera especie de vibracion, se representa por 1 todos los demas sonidos que el tubo puede dar, formarán la serie de los números impares 1, 3, 5, 7, &c, y segun el modo con que los hemos deducido, se ve que no hay entre ellos ningun intermedio posible.

Si se quiere sustituir á las relaciones del número de vibraciones, las espresiones musicales que les corresponden, no hay mas que representar el primer sonido por *do*, y todos los que puede dar el tubo abierto por un estremo y cerrado por el otro, formarán la serie siguiente.

$1 = do_1$
$3 = sol_2$
$5 = mi_3$
$7 = la_3{}^{*}+$
$9 = re_4$
$11 = fa_4{}^{*}-$
$13 = la_4{}^{b}+$
$15 = si_4$
etc.

Esta sucesion puede comprobarse por la esperiencia, y se verifica en efecto con una grande exactitud. Para esto es menester colocar un tubo semejante sobre el secreto portátil que hemos descrito anteriormente, y buscar los diferentes sonidos que puede dar, aumentando por grados el viento que se le comunica, para obligar á la columna de aire á dividirse en un número de partes mas y mas considerable. Tambien se puede conseguir el mismo objeto soplando directamente al pie del tubo, con

una energia graduada progresivamente. Luego que se ha llegado de esta manera á obtener un sonido constante, es preciso compararle con una de las teclas de un órgano bien templado, ó buscar el unísono en un manucordio bien dividido, lo cual determina igualmente el número de vibraciones á que corresponde. Cualquiera que sea el método que se adopte se encontrará siempre que los sonidos que puede producir el tubo estan representados por términos de la serie de numeros impares, como indica la teoría. Pero si se quiere llevar un poco allá esta esperiencia, no se deben emplear tubos destinados á órganos, ó construidos con las proporciones de grueso y longitud generalmente adoptadas para este instrumento; porque estando destinados semejantes tubos á dar un solo sonido que es el mas grave que pueden dar, los artistas que los construyen elijen las dimensiones que la esperiencia ha manifestado ser las mas propias para que este sonido sea lleno y durable, y el tubo no pueda separarse de él sino con mucha dificultad. Por consiguiente en uno de estos tubos cuesta bastante trabajo el poder obtener sus diferentes sonidos, y solamente forzando mucho el viento se obliga á la columna de aire que contiene á subdividirse en sus vibraciones. Cuando se quiere hacer sensible y prolongada la serie de estos sonidos succesivos, es preciso emplear tubos mucho mas delgados que los que se usan para los órganos. Es verdad que entonces se hace muy dificil obtener su sonido fundamental por la gran facilidad que tiene de dividirse la columna de aire que contiene por su escesiva longitud con respecto á su ancho; pero se consigue moderando mucho la fuerza del viento, ya sosteniendo el fuelle en el caso de emplearle, ó ya moderando su propia impulsion si se sopla con la boca. De cualquier modo que sea, si no se obtiene el sonido mas grave que puede dar el tubo, se obtendrá á lo menos uno de los mas graves, y sa-

cando sucesivamente los que le siguen, y fijándolos por medio de un órgano ó manucordio, se hallará que siguen la serie de los números impares, y por esta misma serie se podrá reconocer si se ha obtenido efectivamente el sonido fundamental, ó si si se ha empezado por un término mas alto de la serie.

Tambien se hace uso con buen éxito de tubos del mismo calibre que los de los órganos, modificando solo el tamaño de su embocadura por medio de una laminita de cobre muy delgada y plana que corre por una ranura en la prolongacion de su labio superior fig. 35, se comienza haciendo sonar el tubo en su estado natural, teniendo enteramente retirada la laminita; despues obrando el fuelle siempre con la misma fuerza, hace salir un poco la laminita, con lo cual empieza el tubo á sonar mal, y en seguida deja enteramente de sonar; pero continuando en sacar poco á poco la laminita se halla un punto en que vuelve á sonar de nuevo muy claramente y el sonido que dá entonces es 3, suponiendo 1 el primero. Continuando del mismo modo se oscurece el sonido 3, llega á ser nulo y últimamente se oye el sonido 5; pudiéndose continuar de este modo mientras tenga la boca una abertura suficiente para que pueda sonar el tubo. La salida de esta laminita, estrechando la boca, es cierto que aumenta la longitud de la columna de aire; pero á menos que no se llegue á subdivisiones muy numerosas, esta prolongacion será muy pequeña, relativamente á la longitud individual de las subdivisiones comprendidas entre dos nudos consecutivos, sobre todo, empleando tubos de suficiente longitud, como de tres ó cuatro pies.

Hasta aqui solo se ha tratado de la comparacion de los sonidos sucesivos que puede producir un mismo tubo; pero el tono absoluto de cada uno de estos sonidos se determinará tambien exactamente con la teoria que queda establecida segun la lon-

gitud del tubo, y la especie de vibracion; de suerte que se puede ejecutar antes en el manucordio y ver si cada tubo dá el sonido que corresponde á su longitud. Haciendo esta comparacion se halla que el sonido del tubo es siempre un poco mas grave de lo que indica la teoría, cuya diferencia consiste en la embocadura, como veremos mas adelante.

En todas las especies de vibraciones que se acaban de esplicar, existen entre los nudos de vibracion N_1 N_2, otros puntos M M_1 fig. 36, en los que las variaciones de densidad son enteramente nulas, no haciendo mas que moverse hácia atras y adelante las capas aéreas que se hallan en ellos. Supongamos, pues, que en uno de estos puntos, por ejemplo M, se hace un agujero lateral que permita al aire del tubo comunicar libremente con la atmósfera; esta comunicacion no causará ningun obstáculo á las oscilaciones de la columna interior, pues la densidad en M, es constantemente igual á la del aire esterior. Se podrá, pues, abrir y cerrar alternativamente esta abertura sin que se altere el sonido. En efecto, la esperiencia lo acredita asi, manifestando igualmente que esta propiedad es particular á los puntos M, M_1 &c. como era facil inferir.

Aun hay mas; este fenómeno es independiente del tamaño de la abertura M, y se podrá estender á toda la circunferencia del tubo y separar enteramente la parte M B, sin que se altere el sonido; pero entonces la primera parte comprendida desde el punto M, hasta la embocadura, formaria un tubo enteramente abierto por sus dos estremos. Esta esperiencia nos enseña cómo vibra el aire en un tubo semejante, fig. 37, y nos hace ver que las ondulaciones al llegar al estremo M mas distante de la embocadura, son rechazadas por el aire esterior, no como lo seria por un fondo sólido, sino de modo que este aire no hace mas que entrar y salir en M á una profundidad muy pequeña sin sufrir ninguna variacion de densidad. Estas idas y venidas

forman, pues, en el estremo abierto M una especie de contra corriente, cuyos golpes corresponden á los de la lámina de aire que se mueve en A. Las ondulaciones escitadas por una ú otra causa, se propagan igualmente y se sobreponen en todas las capas de aire intermedias entre A y M. La única condicion necesaria para la continuidad del movimiento de la columna AM, será pues, que estas dos series de ondulaciones sean iguales en longitud, como lo son las hondas directas y retrogradas en un tubo cerrado; y que ademas por efecto de su sobreposicion, la densidad puede ser constante en cada orificio.

Segun esto, en un tubo semejante, la especie de vibracion mas sencilla será aquella en que los dos orificios esten separados por un solo nudo N_1, fig. 38 en que permanezcan inmóviles las moléculas de aire. En este caso, los movimientos de translacion en A y en M, deberán hacerse en un mismo instante en direcciones contrarias y producir ondulaciones de una longitud igual á la del tubo. Consideremos, pues, las dos primeras de estas ondulaciones, y para fijar las ideas, supongámoslas condensantes. Al propagarse de una parte y otra hácia el orificio opuesto, se encontrarán en medio del tubo en N_1 N_1: y la capa aérea situada en este punto, recibiendo siempre á las dos en el mismo instante, permanecerá constantemente inmóvil, pero sufrirá á un mismo tiempo la suma de las condensaciones ó dilataciones que producen. Continuando cada ondulacion su marcha, la que ha salido de A, llegará al orificio M al mismo tiempo en que la que ha salido de M llegue al orificio A. En este instante serán nulas las variaciones de densidad en las capas A y M que corresponden á los estremos de cada honda y desde alli irán creciendo hácia el medio del tubo, donde la variacion será la mayor posible, pues este punto corresponderá entonces al medio de las dos hondas. Desde esta época en adelante las

dos ondulaciones continuarán propagándose, y la condensacion disminuirá en $N_1 N_1$; y al mismo tiempo las capas estremas A y M, que habian entrado una corta cantidad dentro del tubo, volverán hácia atras por efecto de su movimiento de oscilacion. Este nuevo movimiento ocasionará cerca de cada orificio una nueva ondulacion dilatante que seguirá á la primera que habia salido de aquel punto, y el principio de esta nueva honda llegará al medio del tubo, al tiempo de dejarle el fin de la primera. Por efecto de esta superposicion sucederá que en este instante las condensaciones y velocidades serán nulas en toda la estension del tubo, y en seguida la honda dilatante que continua propagándose, hará suceder las dilataciones á las condensaciones: á esta sucederá otra tercera ondulacion que será condensante, y asi sucesivamente mientras se mantenga en A la corriente de aire continua que produce la primera conmocion.

Es muy facil hallar el tono que resulte de esta especie de vibracion; porque supuesto que la longitud de las olas es igual á la del tubo que hemos llamado l el número de vibraciones en cada segundo será $\frac{1024}{l}$. Se ve, pues, que este sonido es la octava del que acabamos de hallar en un tubo cerrado de igual longitud, puesto que corresponde á un número doble de vibraciones. Este sonido será el mas grave que pueda dar el tubo con los dos orificios abiertos.

En efecto, asi lo confirma la esperiencia, á lo menos cuando se hace con tubos bastante largos para poder despreciar la pequeña irregularidad del movimiento de las primeras capas de aire situadas en A, las cuales en vez de ser conmovidas enteramente sobre toda la estension de este orificio, no lo son sino por una pequeña abertura. Aun puede corregirse por el cálculo esta circunstancia; pero se hace insensible cuando los tubos tienen cierta longitud.

Despues de la especie de vibracion que acabamos de considerar, la mas sencilla será aquella en que existan entre los orificios dos nudos de vibracion N_1, N_2, fig. 39, en que permanezcan inmóviles las partículas aéreas. El intervalo de estos dos nudos, es evidentemente igual á la longitud total de una honda, y ademas deberán estar á igual distancia de ambos orificios, pues las hondas que nacen de uno y otro son iguales; en cuyo caso siendo $N_1 N_2$ igual á la longitud de una honda entera MN_1 y AN_2 ocuparán cada una la mitad de esta distancia. Por consiguiente la suma total, igual á dos hondas enteras, deberá componer la longitud l del tubo; la longitud de cada honda será $\frac{1}{2}l$, y el número de hondas en cada segundo $\frac{2.1024}{l}$ El sonido que resulte será, pues, la octava del sonido fundamental, de suerte que si se ha llamado á este *do* y se ha espresado por 1, el nuevo sonido será $do_2 = 2$.

Haciendo los mismos raciocinios respecto al caso de tres, de cuatro nudos, y asi sucesivamente se hallará que la serie de los sonidos que resultan, sigue la serie indefinida de los números naturales 1, 2, 3, 4, 5, &c. Estos serán los sonidos únicos que pueda dar un tubo abierto por ambos estremos, pues segun el modo sucesivo con que los hemos hallado, es evidente que no puede existir entre ellos ningun otro intermedio, y si se quieren espresar por sus denominaciones musicales, llamando al primero do_1 la traduccion de la serie dará

$1 = do_1$
$2 = do_2$
$3 = sol_2$
$4 = do_3$
$5 = mi_3$
$6 = sol_3$
$7 = la_3{}^{*} +$
$8 = do_4$
$9 = re_4$
$10 = mi_4$
$11 = fa_4{}^{*} -$
$12 = sol_4$
$13 = la_4{}^{b} +$
$14 = la_4{}^{*} +$
$15 = si_4$
$16 = do_5$
$17 = re_5{}^{b} -$
$18 = re_5$
$19 = mi_5{}^{b} -$
$20 = mi_5$
$21 = mi_5{}^{*} +$
$22 = fa_5{}^{*} -$
$23 = sol_5{}^{b} -$
$24 = sol_5$
$25 = sol_5{}^{*}$
$26 = la_5{}^{b} +$
$27 = la_5{}^{*} -$
$28 = la_5{}^{*} +$
$29 = si_5{}^{b} +$
$30 = si_5$
$31 = si_5{}^{*} -$
$32 = do_6$
etc. (1)

Esta serie de sonidos puede comprobarse con la esperiencia, como hemos hecho respecto á los tubos cerrados y se verifica con la mayor exactitud. Es generalmente aplicable á todos los instrumentos compuestos de tubos cilíndricos rectos ó curbos, cuyos dos estremos estan abiertos; por ejemplo, el clarin, la trompa &c.

Una observacion curiosa respecto al sonido espresado por 7, es que la mayor parte de los que tocan el clarin ó la trompa no saben producirle. Despues de obtener el sonido mas grave do_1 sacan con facilidad los sonidos $do_2 = 2$, $sol_2 = 3$, $do_3 = 4$, $mi_3 = 53$ y $sol_3 = 6$, y en seguida el instrumento salta como por fuerza á la triple octava espresada por 8, sin poder sacar el sonido intermedio 7. Daniel Bernoulli supone que esto proviene de la dificultad de dividir una cantidad en 7 partes iguales; pero en este caso deberia ser mas dificil obtener el sonido correspondiente al número 12, que sin

(1) La * se ha de tener por ♯ y la *b* por ♭.

embargo se obtiene sin dificultad. Parece mas verosímil la opinion de este mismo físico en cuanto dice que semejante dificultad proviene tambien de la falta de ejercicio del músico, que nunca necesita obtener de su instrumento el sonido espresado por 7; porque siendo intermedio entre *la*3 * y *si*3 b no se usa jamas en la música; y la prueba de que este ejercicio es absolutamente necesario, es que sucede lo mismo con los sonidos mas fáciles de producir, por ejemplo do_1, do_2, sol_2, *do*3 y *mi*. Esto puede comprobarse muy fácilmente adaptando una embocadura á un tubo de vidrio ó de carton, y probando á soplar con la boca en el pie del tubo para sacar sonidos de él, al principio se le oirá saltar asperamente de un sonido á otro, pasando por cima de muchos sonidos intermedios, segun la mayor ó menor fuerza con que se le sople. Pero despues de haber notado este efecto, prontó se adquiere la esperiencia necesaria para subir ó bajar gradualmente de un tono á otro, y cuando se ha obtenido uno de estos tonos, se conoce el grado de fuerza que es necesario para pasar á otro inmediatamente superior ó inferior, como he esperimentado por mi mismo. Parece, pues, probable que á fuerza de ejercicio y haciendo dar continuamente el sonido 7 en un manucordio ó en un tubo, se conseguiria igualmente obtenerle, dando con precision la cantidad de viento que exige, pues para esto hay condiciones indispensables que la esperiencia sola puede enseñar. El músico tiene conocimiento exactísimo del grado de fuerza correspondiente á los tonos 6 y 8 que emplea á cada momento en la música, como que son la quinta y la octava del sonido 4, y es muy natural que caiga sin sentirlo en uno ó en otro cuando por casualidad trata de producir el sonido 7 á que no está acostumbrado. Por tanto, se obtendrá con mas facilidad, colocándole sobre un secreto portatil en que se puede moderar como se quiere la fuerza del

fuelle. En una esperiencia de esta especie que he hecho con Mr. Hamel, hemos conseguido obtener el sonido 7 muy claro y constante; pero nos ha sido preciso emplear aun otro artificio que consistia en acercar mas ó menos el dedo á la boca del cañon cuando habiamos obtenido los sonidos 6 y 8 para arreglar, por decirlo asi, la direccion de la lámina de aire que salia de la luz y hacerla entrar en el tubo. En este caso, despues de algunos instantes de zumbido y como de incertidumbre, se oia salir con claridad el sonido 7, que nos era muy fácil reconocer, porque su unísono en un órgano que nos servia de comparador, correspondia á un fa_4, cuya tecla cuidabamos de hacer sonar de tiempo en tiempo para adquirir la sensacion de la especie de vibracion que queriamos ejecutar.

En general, la tabla anterior manifiesta que los tubos, cuyos dos estremos estan abiertos, no pueden dar en sus óctavas mas graves sino sonidos muy distantes entre sí; por ejemplo, los dos primeros do_1, do_2 que distan una octava entera, pero á proporcion que se eleva el tono, es decir, á proporcion que la columna de aire se divide en un número mayor de partes son mas inmediatos los sonidos que pueden obtenerse. Subiendo mas aun, empiezan á hallarse intervalos cromáticos como sostenidos y bemoles; y en fin, en los sonidos mas distantes del fundamental, no bastan ya estas intercalaciones para representar todos los sonidos del instrumento. Esta es la razon porque el músico que toca la trompa no puede sacar naturalmente sino tonos absolutos en los sonidos graves y puede modular los semitonos en los sonidos elevados, y aun puede modificar lo necesario su instrumento con las variaciones de la embocadura para bajar el sonido 7 que es mas agudo que el la_3* hasta ponerle acorde con el verdadero valor de esta nota en la escala. Aun produce mayores alteraciones tapando en parte con la mano el orificio abierto del instrumento; y asi es como

consigue dar á los sonidos 11 y 13 sus valores usuales. En fin, uniendo este artificio al movimiento de los labios y al tamaño de la embocadura, se llegan á intercalar entre los sonidos naturales de las primeras octavas, intervalos cromáticos, y se hacen oir aun en la primera sonidos que no podria dar el instrumento por sí mismo. Pero producir con exactitud estas grandes modificaciones pide mucha habilidad y ejercicio, y no está al alcance del comun de los músicos.

En los tubos, lo mismo que en las cuerdas vibrantes, pueden coexistir á un mismo tiempo muchas vibraciones diferentes, y sobreponerse, por decirlo asi, en la misma columna de aire; porque cuando se produce un sonido cualquiera representado por n, se oyen resonar con él todos los sonidos mas graves que corresponden á números menores que n; lo cual se hace especialmente sensible en los pasos de una especie de vibracion á otra cuando se producen gradualmente por medio de aberturas variables de la boca, como hemos esplicado en la pág. 73.

Las espresiones teóricas no determinan aqui como en los tubos cerrados únicamente las relaciones del número de vibraciones sucesivas, sino que dan el valor absoluto de estos números con relacion á la longitud de cada tubo, y se puede comprobarlos por la esperiencia, buscando el unísono del tubo en un manucordio vertical cargado con un peso constante y sabido, pues conociendo este peso, el de la cuerda y su longitud, cuando vibra el unísono del tubo, se puede calcular por las leyes de mecánica el número de vibraciones que hace cada segundo, y por consiguiente el del tubo; mas procediendo de este modo se halla siempre que el sonido del tubo es un poco mas grave que el que da la teoría segun su longitud.

Daniel Bernoulli ha demostrado que esta diferencia proviene de que la teoría supone la colum-

na aérea, sacudida por todo el orificio; siendo asi que con la disposicion que se dá á la boca de los cañones de órgano, el sacudimiento es parcial. Ha demostrado tambien que cuando la columna de aire contenida en un tubo semejante, se divide en muchas partes consonantes separadas por nudos de vibracion inmóbiles la parte mas inmediata á la embocadura parcial, es mas corta que todas las demas, aunque vibra en el mismo tiempo; y todas las restantes que son conocidas en toda la estension de su seccion transversal, son las que siguen exactamente las relaciones indicadas por la teoría. Las pruebas de este hecho pueden verse en el tratado general.

Yo he esperimentado que esta influencia de la embocadura parcial no es la misma en todos los gases con igual presion. En el gas hidrógeno, por ejemplo, es mucho mayor que en el aire atmosférico, lo que hace mucho mas corta la primera division inmediata á la embocadura parcial; de donde resulta que cuando se hace sonar sucesivamente el mismo tubo con los dos gases, las columnas vibrantes no tienen en realidad la misma longitud en los dos casos. Por consiguiente, cuando se quieren comparar los sonidos dados por diferentes gases, es preciso contar con esta circunstancia. Segun la teoría, estos sonidos á longitud igual deben ser inversos de las raices cuadradas de las densidades de los gases bajo una misma presion; pero haciendo sonar un cañon de órgano con diferentes gases no se halla este resultado por la razon que acabamos de indicar. Por ejemplo, respecto al gas hidrógeno que vibra en un tubo abierto, la conmocion parcial es tan considerable, que resulta un descenso de tono, casi de una séptima menor.

De los tubos de diámetro desigual.

Los tubos cilíndricos presentan el caso mas sen-

cillo de la propagacion de las hondas sonoras; pero estas pueden formarse en tubos de diámetro variable, por ejemplo, cónicos ó hiperbólicos, adaptando á ellos embocaduras parciales, análogas á las que hemos usado para los tubos cilíndricos. En este caso, la columna aérea se divide tambien en partes consonantes entre sí, separadas por capas inmóviles, y cuya situacion está determinada por la oposicion de movimientos de las partes contiguas; pero se diferencian de los tubos cilíndricos en que no es igual el tamaño de todas las divisiones, sino que depende de la forma del tubo. En cada caso se puede determinar por esperiencia la proporcion de sus longitudes, como hemos hecho respecto á los tubos cilíndricos, ó bien por el cálculo, conforme á las leyes de movimiento del aire, y ambos resultados convienen exactamente. Todos estos pormenores se hallan esplicados en el tratado general.

Se emplean tambien en el órgano una especie particular de cañones de boca, llamados *cañones de chimenea*, fig. 40. Se componen de un tubo cerrado, en cuyo fondo hay una pequeña abertura circular, á la que se adapta un tubo AB del mismo diámetro que ella abierto por ambos estremos, y muy corto en comparacion del primero. El tono de estos cañones es intermedio entre el de los tubos cerrados y el de los abiertos; pero su voz es algo distinta, y se emplean por esta razon para producir mas variedad.

Las personas que tienen el oido tardo emplean tambien para oir mejor un tubo cónico, cuyo cúspide colocan en el agujero de la oreja, á fin de reunir en ella por medio de la reflexion mayor número de hondas sonoras que las que llegarian naturalmente. Este instrumento, llamado *trompetilla*, no produce otro efecto que el de concentrar las ondulaciones aéreas.

De las flautas é instrumentos de viento agujereados lateralmente.

Hasta ahora solo hemos considerado tubos de diferentes longitudes, abiertos ó cerrados, pero cuyas paredes son contínuas. Pero se bacen tambien instrumentos muy armoniosos con tubos cilíndricos agujereados lateralmente, en los cuales se sopla por una embocadura, y que son verdaderos cañones de órgano, en que sirve de fuelle la boca del músico. Como nosotros solo debemos considerarlos bajo el aspecto teórico, uno de ellos nos bastará para ejemplo, y elejiremos la flauta travesera por ser mas conocida.

Esta flauta, representada en la fig. 41, se compone de un cilindro hueco de madera, marfil ó cristal, abierto enteramente por uno de sus estremos, y por el otro solo con un agujero lateral que sirve de embocadura. Los bordes de este agujero estan achaflanados; y colocándolos junto á la boca y cerrando los labios, se dirije contra su corte una lámina de aire; por este medio se pone en vibracion sonora la columna de aire contenida en el tubo. Si se tapan con los dedos todos los demas agujeros laterales del tubo, se hallará en el caso de los tubos cilíndricos abiertos por ambos estremos. Se sacará, pues, de él un sonido fundamental, el mas grave de todos; y en seguida, variando el modo de soplar, se obtendrá una serie de sonidos mas y mas agudos, que tomando el primero por unidad formarán la serie de los números naturales 1, 2, 3, 4, 5 &c. Pero se sacarán tambien otros intermedios, descubriendo sucesivamente uno ó muchos agujeros laterales que antes estaban cerrados; pues estando abierto cada uno de ellos, eleva el sonido fundamental una cantidad relativa á su tamaño y á su distancia de la embocadura, como se puede probar prácticamente aumentando sucesivamente sus dimensiones.

Hay tambien instrumentos de viento, como la trompa, que estan formados de tubos curvos; mas esta curvatura no influye nada sobre el sonido que se saca de ellos, ni hace mas que doblar el tubo sobre sí mismo para darle mucha longitud en poco volúmen. Por lo demas la serie de sus sonidos es absolutamente la misma que en los tubos rectilíneos de igual forma y longitud.

Modo de afinar los cañones de boca. Métodos para ponerlos en tono.

Cuando se construyen los cañones de órgano con las dimensiones indicadas por la teoría y la esperiencia, es casi imposible que den desde luego exactamente el tono que se desea. Es menester, pues, conducirles á él por algun método correctivo; y vamos á esplicar los que mas se usan, y que estan fundados en las modificaciones que adquiere el sonido cuando se cambia la longitud ó la forma de los tubos. Estos métodos varían segun la naturaleza del cañon y la materia de que está construido. Supongámosle de madera, carton, ó cualquiera otra materia inestensible; en este caso, si el fondo ha de ser cerrado se pone en él un tapon de madera cilíndrico, bien ajustado, y rodeado de una piel con la cárne hácia afuera, y se introduce ó retira gradualmente, hasta que se halla el tono que se desea. Si el carton debe quedar abierto, se pone en su estremo una laminita de plomo inclinada á su eje, y se sube ó se baja, hasta que da el sonido justo. Esta lámina modifica el sonido, porque tapa en parte el estremo del tubo, pues si se bajase enteramente cubriria toda su superficie y le transformaria en un cañon cerrado; lo cual haria bajar su tono una octava entera.

Pasemos ahora á los cañones hechos de plomo ó estaño. Cuando estos deben quedar abiertos, se arreglan por medio de un cono de metal, que se in-

troduce en su interior para ensancharlos si el sonido que dan es demasiado grave, ó para estrecharlos si es demasiado agudo. En cuanto á los cañones cerrados no se les puede aplicar este método, ni hacer movible su fondo, porque está soldado al estremo de su cuerpo; y asi se suple por otro medio, tanto mas curioso, cuanto que solo la esperiencia ha podido hacerle conocer. En la superficie esterior del cañon y á los lados de su labio superior se adaptan dos láminas de plomo L, L, fig. 45, que se abren hácia afuera, y que se parecen á dos *orejas*, que es el nombre que se les da. Cuando estan enteramente abiertas y tocando á la superficie del tubo se obtiene el sonido natural que este debe dar segun su longitud; pero aproximándolas poco á poco, el sonido baja progresivamente, y algunas veces una cantidad considerable. Es claro que este fenómeno depende de la influencia de la embocadura, pero seria muy dificil calcularle. El mismo método se emplea en los cañones de chimenea, al que no pueden aplicarse los otros métodos de correccion, pues la pequeñez de la chimenea no permite que se puedan afinar ensanchándola.

Generalmente todo lo que puede detener ó retardar de cualquier modo las vibraciones del aire, ya en el interior de los tubos, ya en su esterior, modifica el sonido que se saca de ellos. Asi, los cañones estan modificados aun por su inmediacion recíproca; de modo, que en un órgano bien afinado, si se aisla alguno quitando todos los inmediatos, su tono varía y pierden la afinacion.

De los instrumentos de boquilla.

La boquilla representada en la figura 46 es un aparato vibratorio que se pone en movimiento por una corriente de aire, y que asi escita en este fluido sonidos cuya fuerza se aumenta mucho, haciéndola vibrar dentro de un tubo de un grueso y una

longitud conveniente. Este aparato se compone de una lengüeta AL, formada de una hoja delgada de laton, sujeta en A sobre una pieza cilíndrica AR de madera ó metal, acanalada en la direccion AR. Todo este sistema se introduce por el estremo A en un agujero semicircular, hecho en el centro de un tapon T, que cierra exactamente el tubo SVT. En este caso, si se sopla por el orificio S, adelgazado á propósito para este objeto, la corriente de aire se ve precisada á enfilar el canal para salir; pero como este es muy pequeño con relacion al diámetro del tubo SVT, si se sopla con bastante fuerza, el aire, comprimiéndose para entrar en él, empuja la lengüeta AL contra el canal y le cierra; pero obrando inmediatamente la elasticidad de la lengüeta, se levanta esta, vuelve á pasar el aire, y vuelve á comprimir la lengüeta, continuando este juego alternativo todo el tiempo que se introduzca nuevo aire con bastante velocidad por el orificio S. Poniendo este orificio sobre el canal de un fuelle de órgano, las alternativas llegan á tener la rapidez necesaria para producir un sonido ordinariamente ronco y desagradable, á lo menos cuando el aparato se halla reducido á este grado de sencillez.

El tono mas ó menos elevado de este sonido depende especialmente de la longitud de la lengüeta desde el punto en que está fija. Tambien depende de su elasticidad, de su peso, y de su mayor ó menor curvatura cóncava hácia afuera; porque cambiando todos estos elementos varía el sonido que daba la boquilla.

Conviene observar que no es la misma lengüeta quien por sus vibraciones cierra y abre alternativamente el canal, sino que el aire es quien la cierra y ella la que se abre, y el sonido depende de la mayor ó menor rapidez de estas idas y venidas. Si el punto de union está fijo y la longitud de la lengüeta es constante, el aire necesitará una fuerza tanto mayor para conducirla contra el canal, cuan-

to mas separada esté, y por consiguiente este aumento de distancia deberá hacer mas lentas las vibraciones y mas graves los sonidos, que es lo que en efecto se observa constantemente. Por el contrario, se hará el sonido mas agudo acortando la parte libre de la lengüeta, permaneciendo constantes las demas circunstancias, porque su estremo tendrá que hacer menos camino para acercarse al canal y para separarse de él. Estas variaciones de longitud se producen por medio de un arambre de hierro encorvado F*f* adaptado á la lengüeta, y que por su fuerza elástica la comprime contra el canal. Introduciendo ó sacando este arambre, se coloca el punto fijo de la lengüeta mas ó menos próximo á su estremo libre, y el sonido sube ó baja, pero no proporcionalmente al cuadrado de las longitudes, como he observado por la esperiencia; lo cual acaba de probar que el movimiento de la boquilla no debe compararse al de las láminas elásticas fijas por un estremo y libres por el otro que vibran espontáneamente. Por lo demas, el sonido de la boquilla está determinado de tal modo por la rapidez de las vibraciones de que es susceptible, que permanece el mismo siempre, cualquiera que sea la naturaleza del gas con que se la haga sonar.

La corriente de aire que hace vibrar las lengüetas no obra sobre ellas únicamente al enfilar el canalito, sino que modifica tambien su movimiento por la mayor ó menor rapidez con que pasa y hace lugar á nuevo aire. Por una consecuencia necesaria de esta reaccion recíproca, resulta que la forma de los tubos que se colocan sobre las boquillas, influye muchísimo sobre la cualidad de los sonidos que se sacan de ellas. Los que dan sonidos mas brillantes son los tubos cónicos que van ensanchando hácia el aire esterior, fig. 47. Si el cono está inverso, fig. 48, el sonido se hace sordo. Pero si se ajustan dos tubos semejantes unidos por sus bases al estremo de un largo tubo cónico, fig. 49, este

sistema da el sonido de mas limpieza y fuerza. En general, para que las vibraciones de la lengüeta sean regulares y armoniosas es necesario que puedan convenir con el movimiento del aire en el tubo en que suena la boquilla. La necesidad de esta condicion se hace sensible, especialmente en los tubos largos y delgados, como los del oboe y el clarinete; por esta razon se hallan estos instrumentos agujereados lateralmente, para que con estos agujeros, unidos al movimiento de los labios, pueda el músico producir el sonido que quiera.

Las boquillas, tales como las que acabamos de describir, tienen siempre un sonido ronco y desapacible, cuya aspereza proviene del golpeo de la lengüeta contra la materia sólida del canal; pero Mr. Grenié, hábil aficionado á la música, ha conseguido por medio de una modificacion tan simple como ingeniosa, quitarles todos estos defectos, y darles cualidades que no tenian.

Para esto forma el canal AR, fig. 50, de madera ó cobre, pero en forma de paralelipípedo; la lengüeta es una laminita de laton, perfectamente plana, cortada en forma de rectángulo, de modo que llene exactamente ó casi exactamente la cara vacía del canal; un arambre muy firme y sólido *r r* detiene la lengüeta á la longitud conveniente, y fija de un modo invariable el punto desde donde debe vibrar. Ahora bien, colocada esta boquilla sobre el portaviento BCS, si se sopla por el agujero S, no hallando el aire comprimido casi ninguna salida entre la lengüeta y las paredes del canal, empuja la lengüeta y la hace entrar en él. Luego que ha pasado una corta cantidad de aire, la elasticidad natural de la lengüeta la conduce á su posicion primitiva; de suerte que cierra de nuevo el paso al aire; pero la velocidad que ha adquirido al volver sobre sí misma la hace pasar de este punto, y se separa de él impeliendo el aire que encuentra de sí, hasta que la resistencia de éste, unida á su propia elasti-

cidad, la conduce de nuevo á su posicion primitiva, de donde el aire la introduce segunda vez dentro del tubo. Tal es la especie de movimiento mas general que puede concebirse; y Mr. Grenié ha tenido la bondad de proporcionarme la ocasion de comprobarlo por esperiencia, disponiendo una de sus boquillas en un portaviento de vidrio, de modo que se la podia ver vibrar. Es fácil concebir que tales vibraciones, cuando llegan á ser bastante rápidas, deben producir un sonido lo mismo que en las boquillas comunes, con la importante diferencia sin embargo que el sonido tendrá una voz incomparablemente mas dulce, mas armoniosa y mas igual, pues la lámina de laton, en vez de golpear sobre madera, cobre ó piel, cuya resistencia es siempre áspera é irregular, no hace aqui mas que comprimir sobre sí mismo un fluido perfectamente homogéneo, compresible y elástico, como es el aire. Asi es que las boquillas de Mr. Grenié no tienen el tono chillon que fastidia en las ordinarias y que no desaparece enteramente en los instrumentos en que se halla modificada por el movimiento de los labios. Su sonido en las octavas mas agudas, como en las mas graves, es tan dulce y tan limpio como en los cañones de boca, y es evidente que debe ser asi, segun el modo con que el aire se pone en vibracion.

Otro punto importante de la construccion de Mr. Grenié es la firmeza de las lengüetas y de los arambres que las fijan. La fuerza de cada lengüeta está combinada con el ancho del canal que cubre, de manera que la corriente de aire que la compone, no pueda jamas darla muchas inflexiones al rededor de su eje, y como la firmeza del arambre hace invariable su longitud, resulta que cualquiera que sea la fuerza del viento que obre sobre ella, no puede nunca mudar de tono. El aumento de aire no produce otro efecto que hacer mayores las escursiones de la lengüeta y aumenta-

rán el sonido, y el músico aumenta á su gusto el viento por medio de una contra que hace mover un fuelle de resorte. De este modo se pueden obtener segun se quieran sonidos fuertes ó débiles, y pasar de un estremo á otro por un *crescendo* tan regular y tan sostenido como el de la voz ó el de los instrumentos en que el sonido se halla modificado por el movimiento de los labios.

El aire que ha hecho vibrar las boquillas sale por tubos abiertos, ensanchados cónicamante y terminados en un hemisferio, fig. 51; este ensanche, como hemos dicho ya, dá fuerza y limpieza al sonido. Lá longitud de cada tubo es siempre igual á la de la lengüeta, pues la esperiencia ha hecho conocer esta proporcion, como ha indicado la forma mas á propósito. Mr. Grenié ha construido cañones de boquilla sobre este modelo que dan el sonido de un cañon abierto de diez y seis pies con una limpieza, una fuerza y una regularidad dignas de notarse. En este caso la lengüeta es una regla de cobre de 0,240 metros de largo, 0,035 de ancho, y 0,003 de grueso. Sus vibraciones son tan enérgicas que hacen temblar el tubo que le sirve de prolongacion, el portaviento sobre que está colocada, el suelo y todos los cuerpos elásticos que se hallan inmediatos.

Sabiendo, pues, por esta teoría que el sonido de los cañones de boquilla es escitado inmediatamente por las vibraciones de sus lengüetas, y arreglándose la rapidez de estas vibraciones á las dimensiones de las láminas que las ejecutan, es claro que el tono del sonido que resulta de ellas, se determina completamente por estas circunstancias con absoluta independencia del fluido en que vibra, y por consiguiente debe ser el mismo en todos los graves, que es lo que en efecto confirma la esperiencia. Para convencerme de ello, he atornillado el portaviento de una boquilla á una llave, cuyo canal era bastante ancho, colocada en la parte su-

perior de una compana de vidrio, fig. 52, y he envuelto el tubo de salida en una vejiga que habia mojado para hacer salir el aire. Despues habiendo colocado la campana sobre una cubeta llena de agua, la he sumergido gradualmente para que el aire pasase por la llave al tubo de la boquilla y la hiciese sonar. He observado el tono que daba de esta manera, y despues habiendo quitado la vejiga para arrojar todo el aire que habia pasado á ella, la he vuelto á colocar bien comprimida, y he llenado la campana de gas hidrógeno, que de este modo no se hallaba mezclado sino con la cortísima porcion de aire atmosférico que podia contener el tubo de la boquilla. Sumergiendo de nuevo la campana en el agua, he hecho sonar la boquilla con el gas hidrógeno, y he hallado el tono del sonido exactamente el mismo que antes. Para hacer bien esta esperiencia, es necesario usar de una boquilla libre, como las de Mr. Grenié; porque estas son las únicas, cuya construccion es bastante perfecta para poder conservar la constancia del tono, cualquiera que sea la rapidez de la corriente de aire que las atraviese.

CAPITULO VI.

Sobre la resonancia de los cuerpos.

Reuniendo y generalizando los hechos que hemos esplicado en los capítulos anteriores, se concibe que todos los cuerpos de cualquier naturaleza que sean, cuando son conmovidos de un modo conveniente, pueden tomar movimientos de vibracion, cuya rapidez, fuerza y permanencia, dependerán del modo de agregacion que une las partículas del cuerpo vibrante, de su elasticidad mas ó menos perfecta, y en fin de su forma, que establece relaciones mecánicas entre los movimientos que pueden tomar sus diferentes partes. Asi, si

se examinan los instrumentos de música de las diversas naciones del mundo, se ve que se han empleado en su construccion casi todas las materias conocidas.

Este estado de vibracion, que produce en el aire hondas sonoras, no solo puede imprimirse á todos los cuerpos por efecto de una conmocion inmediata, sino tambien por comunicación, poniéndolos en contacto con cuerpos vibrantes que les hagan participar de sus vibraciones. Asi es como la caja de madera seca y elástica que forma el cuerpo de los violines, pianos, harpas, violones &c. tiembla y resuena bajo la influencia harmónica de estos intrumentos, y segun su contestura la hace mas ó menos dócil á esta influencia, refuerza con mayor ó menor energía, claridad y exactitud el débil sonido que han escitado primitivamente las cuerdas. Para hacer sensible este fenómeno, se toma un diapason de hierro como el que representa la fig. 21, y que sirve para fijar el tono á que se han de templar los pianos; se le hace vibrar muchas veces aisladamente, y habiendo reconocido el grado de intensidad del sonido que escita, se le coloca sobre la caja del piano en que estan encerradas todas las cuerdas metálicas; al momento producirá un sonido que estará exactamente en el mismo tono, pero con una fuerza mucho mayor. Si se quiere hacer aun mas visible este aumento, se coloca el diapason sobre la caja despues que se ha debilitado su resonancia propia hasta el punto de no oirse aisladamente, y entonces se oye de nuevo, y con mayor fuerza que la que antes tenia. Es evidente que en este caso el movimiento vibratorio del diapason, se comunica por el aire y por la materia sólida de la caja á todas las cuerdas metálicas que pueden admitirle en su longitud total, ó en sus divisiones, como tambien á las cuerdas ó fibras leñosas de la caja que se hallan en estado de recibirle, que es sin duda la razon por qué se la vé

temblar. De este modo se concibe cuanta influencia debe tener en la bondad de los instrumentos la eleccion de una madera compuesta de fibras movibles y fáciles de escitar; pero estas cualidades solo pueden reconocerse por la esperiencia. En general, deben emplearse maderas secas, sonoras, elásticas y de fibras muy iguales y ensayar por medio de pruebas semejantes á la que acabamos de describir, si son igualmente sonoras en todas sus partes. Aun con todo esto es necesario ademas que las cuerdas que se emplean sean propias para aquella madera; porque tal cuerda suena mal en un violin que sonará bien en otro. Tambien parece que el tiempo contribuye á perfeccionar las cajas sonoras, y que sus fibras se hacen cada vez mas fáciles de conmover cuando lo han sido ya muchas veces. Estas diferencias son tan sensibles para un oido ejercitado, que un hábil profesor de violin distingue con los ojos cerrados los instrumentos hechos por un célebre constructor de violines, como Amati ó Guarnerius por la simple calidad del sonido que dan; y en vano se procurarán imitar estos instrumentos sino se puede hacer uso de materiales tan perfectos. Un *Amati* puede demostrarse veinte veces sin perder nada de su mérito; y si despues de haberle puesto en tal estado se imitan todas sus piezas con la mas escrupulosa fidelidad se obtendrá un instrumento de una forma exactamente parecida; pero armando uno y otro y probándolos, el primero será siempre un violin escelente y el nuevo podrá ser muy mediano y aun muy malo.

El nudo prodigioso del instrumento chino conocido con el nombre de *tamtam*, presenta una gran prueba del efecto de estas vibraciones comunicadas aun por medio de las sustancias mas rígidas. Este instrumento es una especie de címbalo grande, colgado de una cuerda por una de sus orillas, y está hecho de una aligacion de 0,22 de es-

taño y 0,78 de cobre, la cual segun el curioso descubrimiento de Mr. Darcet, cuando está templada es ductil y maleable, de modo que se puede trabajar fácilmente y que se hace dura, elástica y quebradiza cuando se deja enfriar lentamente al aire libre. Se forma el instrumento cuando se halla el metal en el primer estado, y cuando tiene la figura que se desea se le dá la dureza y elasticidad. Para hecerle vibrar se le hiere por la orilla, no con un cuerpo duro que le romperia como si fuese de vidrio, sino con una muñeca de piel puesta á la punta de un palillo. El sonido al principio no es muy intenso; parece que los anillos en que se toca son los primeros que se ponen en vibracion; pero muy pronto se comunica el movimiento á todo el resto de la masa, y resulta un nudo espantoso.

El aire mismo, á pesar de su poca masa, se hace capaz de comunicar sus propias vibraciones cuando se halla en contacto con cuerpos susceptibles de admitirlas y ejecutarlas con él. A este género de vibraciones hemos atribuido la palpitacion de las cuerdas tirantes cuando se hace vibrar junto á ellas otra, cuyas oscilaciones puedan seguir, ya vibrando enteramente, ya dividiéndose en partes alicuotas. El órgano tambien produce efectos semejantes; pero mucho mas intensos sobre los cuerpos elásticos que presentan grandes superficies á las ondulaciones del aire. Si se coloca uno de estos instrumentos en un cuarto, sucede casi siempre que algunos de sus cañones estan en armonía con uno ó muchos vidrios de las ventanas, y aun algunas veces con la vidriera entera; entonces esta tiembla y resuena cuando se hacen sonar estos tubos, y el sonido propagado que de aqui resulta suele ser mucho mas intenso que el sonido principal.

Estas propiedades pueden aplicarse para aumentar el efecto de las orquestas en los teatros, y segun dice J. J. Rosseau no se desprecia esta circunstancia en los coliseos de Italia. El sitio en que es-

tan colocados los músicos es, por decirlo asi, un grande instrumento; su suelo comunica por el menor número de puntos que es posible con la masa sólida del edificio que seria muy dificil hacer vibrar, y bajo este suelo hay una bóveda hueca de la misma estension horizontal que él, que se halla siempre vacía. El aire que encierra esta cavidad se pone en vibracion por los instrumentos de la orquesta, y á manera de una gran cinta, refleja los sonidos, haciéndolos mas fuertes, como hay muy poca distancia entre el punto donde se refleja el sonido en la cavidad, y el punto de donde nace las hondas directas y las reflejas llegan á los espectadores en instantes tan inmediatos que no perciben intervalo sensible, pero segun es mas ó menos profunda la cavidad que resuena, y de una forma mas ó menos apropiada á la configuracion de la sala resulta esta mas ó menos sonora. Por lo demas, el peor de todos los defectos que pueden hacer sonoro un teatro, ó en general, una sala destinada á reuniones públicas, y seguramente uno de los mas comunes, es la existencia de grandes cavidades, hechas fuera de propósito en sus paredes, donde van á sepultarse las hondas sonoras sin poder llegar á los demas puntos sino por ecos tardíos ó incómodos que solo sirven para debilitar mas aun los sonidos directos.

Parece que los antiguos habian adquirido métodos para aumentar y difundir los sonidos por la esperiencia y la necesidad que tenian de recurrir á semejantes artificios para que se pudiese oir á sus actores en teatros inmensos y enteramente descúbiertos. Dicen que habia en diferentes partes del recinto grandes vasos de bronce, cuya resonancia aumentaba el sonido de modo que pudiera oirse sensible y distintamente en todas partes. Viturbio asegura este hecho y aun esplica el modo con que estaban colocados los vasos; pero es imposible concebir cómo podia resultar semejante efecto. En general son muy cortos nuestros conocimientos res-

pecto á todo lo que corresponde á la intensidad de los sonidos; y seria de desear que algun hábil físico estudiase y desenvolviese esta parte de la ciencia que es aun enteramente nueva.

Hay tambien otra especïe de resonancia que depende en cierto modo de la naturaleza de nuestro órgano y que consiste en la limpieza y el brillo que adquiere un sonido cuando está sostenido por su octava ó su quinta. No trato del sonido resultante que se produce siempre con el concurso de ambos sonidos y que debe contribuir naturalmente á hacerlos oir mejor, sino de fenómenos de otra naturaleza. Por ejemplo, si en un tubo conveniente se coloca una boquilla libre, que dé el sonido de un tubo abierto de 16 pies y se la hace vibrar sola, se oirá un sonido grave pero sordo que formará casi el estremo de los que podemos apreciar, pero si se pone al lado de esta boquilla otra que dé la octava de la primera y que por consiguiente produce aun un sonido muy grave y se les hace resonar juntas, se obtiene el mismo sonido, pero con una fuerza, una limpieza y una brillantez que sorprenden. Por esta razon los cañones de órgano tan graves como el de 16 pies y el de 32, no se emplean nunca solos, pues apenas podrian oirse sino que van siempre acompañados de sus superiores. Esto puede provenir á lo menos en parte de un hecho que ha descubierto y me ha manifestado Mr. Hamel, á saber, que cuando muchos sonidos vibran á un mismo tiempo, ademas del sonido grave resultante, que puede calcularse por la teoría, se oyen otros mas altos que forman con los primeros una serie ascendente; de manera que se hacen sensibles, sobre todo en los tonos bajos, donde se pierden los primeros y apenas en los tonos elevados en que los primitivos adquieren mayor energía.

CAPITULO VII.

Organo del oido y de la vòz.

Cuando á fuerza de combinaciones y esperiencias hemos llegado á descubrir las leyes comunes de una clase de fenómenos naturales, si hay en los seres organizados algunos aparatos destinados á hacer sensibles estos fenómenos, es de una grande importancia estudiar su mecanismo y compararle con nuestra teoría, pues por profunda que esta sea, siempre hallamos que la naturaleza sabe mas, y la observancia de sus obras confirman lo verdadero que hemos descubierto y nos deja con muchos enigmas instructivos que adivinar. Esta consideracion, muy propia para escitar los espíritus filosóficos, me ha movido á poner aqui algunos pormenores acerca de los órganos del oido y de la voz, estraidos principalmente del tratado elemental de fisiologia de Mr. Magendie.

Todos los aparatos de nuestros sentidos se componen generalmente de un sistema esterior de órganos que recoge las impresiones esteriores, y de un nervio colocado detras de él y destinado á comunicarnos la sensacion íntima. Esta disposicion se observa en los órganos de la vista, el olfato y el tacto, é igualmente se encuentra en el órgano del oido.

Del oido.

Este órgano presenta esteriormente una especie de *pabellon* ensanchado hácia afuera como el de la trompetilla, pues como acabamos de decir, nuestros instrumentos mas perfectos no son ordinariamente sino imitaciones mas ó menos felices de los procedimientos de la naturaleza. Este pabellon se estrecha poco á poco, viniendo á formar un conducto revestido interiormente de vello y de una ma-

teria viscosa que impide la entrada de cuerpos estraños; y en fin, su fondo está completamente cerrado con una membrana seca y tersa que la piel mas fina en este parage cubre por la parte esterior y que se llama membrana del *tímpano*. Las ondulaciones sonoras del aire esterior no pueden pasar de esta membrana, y es verosímil que su objeto es recogerlas y transmitirlas al interior, para cuyo objeto es muy á propósito por razon de su estructura elástica. Sin embargo, la propagacion del sonido se hace tambien por las partes sólidas que la rodean, pues puede rasgarse y aun destruirse enteramente sin que se altere de un modo sensible, segun dicen, la facultad de oir. Detras de ella hay una cavidad llamada *caja del tambor* que se comunica con la garganta por un conductito que permite entrar y salir en ella el aire que se halla en la parte posterior de la boca. Esta condicion parece esencial para la comunicacion de los sonidos, porque dicen que cerrado el conducto gutural se sigue inmediatamente la sordera. Pero lo mas singular que contiene la caja del tímpano son cuatro cuerpecitos huesosos llamados *huesecillos* que forman una cadena seguida, unida por una parte á la membrana y por la otra á un aparato sólido mas complicado llamado el *laberinto*; una de cuyas partes formada en espiral se llama *caracol*. El laberinto está lleno de un líquido en que se sumerge el nervio acústico. De este modo se concibe que obrando las ondulaciones sonoras sobre la membrana del tímpano por su choque inmediato, se transmiten por el aire de la caja y por la cadena de los huesecillos á las paredes del laberinto y de estas por medio del líquido al nervio acústico. Mas esto es todo lo que se puede esplicar. ¿Para qué sirve la cadena de los huesecillos? Se ignora. Cuando la membrana del tímpano se destruye, esta cadena deja de estar tirante y no puede servir; los tres huesecillos inmediatos á la membrana caen y solo queda ordi-

nariamente el cuarto nudo al orificio del laberinto y á la membrana que le cierra, de suerte que no se derrama el líquido que contiene. En este caso, la facultad de oir continua lo mismo que antes, aunque probablemente con menor perfeccion; y seria muy útil examinar si se debilita la sensibilidad del órgano y su facultad de percibir y comparar los sonidos. Por lo demas, mientras el nervio acústico esté rodeado de líquido, se comprende cómo pueden pasar á él los sonidos por las partes sólidas del órgano; pero esta transmision seria imposible si quedase aislado el nervio. Asi, cuando á consecuencia de una enfermedad se destruye la membrana del tímpano y cae la cadena osia, y si cae tambien el cuarto huesecillo que cierra el laberinto y se rompe la membrana que le cubre, de modo que se derrame el líquido que contiene esta cavidad, se sigue necesariamente la sordera. Pero ¿para qué sirve este trabajo maravilloso del laberinto? Se ignora absolutamente.

De la voz.

El mecanismo del órgano de la voz es mas conocido que el del oido, aunque estamos muy lejos de poder esplicar todos sus pormenores. Este órgano es, sino del todo semejante, á lo menos análogo á los instrumentos de las boquillas libres.

En el hombre el aire inspirado por el pulmon y contenido en el pecho, es arrojado de alli por la contraccion de estas cavidades, que se hace por un aparato de músculos muy poderoso, que se llama *músculos de la espiracion*. De alli pasa por un canal cilíndrico llamado *traquiarteria* compuesto de anillos cartilaginosos alternados con anillos membranosos flexibles que le dan la facultad de estenderse ó acortarse, aunque en límites muy estrechos. Al estremo de este canal se hallan dos láminas membranosas rectangulares, colocadas paralelamente una

de otra á muy corta distancia; de modo que su intervalo ofrece una hendidura muy estrecha, por donde tiene que pasar el aire arrojado del pecho antes de salir por la boca. La organizacion de estas dos láminas es muy complicada; pero lo que nos importa observar principalmente es que pueden vibrar con una gran rapidez por su lado libre y que en efecto vibran al producirse la voz de un modo continuo, como Mr. Magendie ha observado en perros vivos. Este aparato análogo á una boquilla, cuyas láminas fuesen contractiles y elásticas, se llama *glotis*, y el sitio de la traquea en que se halla colocado, con las piezas que le acompañan se llama *laringe*. Sobre la glotis se halla una membrana chata, elástica y semejante á una lengua, que estando fija solo por su base, puede tomar con respecto á la traquea diversas inclinaciones, elevándose ó bajando sobre la glotis de modo que modifique la rapidez de la corriente de aire que sale de ella. Esta membrana ha recibido el nombre de *epiglotis* que solamente denota su colocacion. Pronto veremos para qué puede servir; mas por ahora me limitaré á decir siguiendo á Mr. Magendie que se pone en vibracion como los labios de las glotis en los sonidos continuados. Pasada esta membrana, el aire no encuentra mas obstáculos y se estiende por la garganta y la boca saliendo á fuera últimamente.

Por esta breve descripcion se reconoce con evidencia que el órgano de la voz solo puede compararse á un instrumento de boquilla libre en que el pecho sirve de fuelle, la traquea de portaviento, la glotis de boquilla, y la boca de tubo de la salida. Todas las pruebas esperimentales que pueden hacerse confirman esta analogía.

Desde luego parece imposible ver en ella, como algunos autores, un instrumento de cuerdas. En efecto, ¿qué semejanza hay entre la glotis y una cuerda vibrante? ¿Donde se encuentra la capacidad necesaria para dar á esta cuerda la longitud que

exigen los sonidos mas graves? ¿Cómo se podrian sacar de ella sonidos de un volúmen comparable al de los que produce el hombre? Las mas simples nociones de acústica bastan para hacer desechar esta opinion estraordinaria.

Es, pues, un instrumento de viento; pero este instrumento es tal, que puede dar sonidos muy graves con un tubo de una longitud muy poco considerable, y el mismo tubo casi sin cambiar de longitud, puede producir no solo una serie de sonidos en progresion harmónica, sino todos los sonidos imaginables, y todas las variaciones de estos sonidos en la estension de la escala musical que cada voz puede comprender. Estos efectos no pueden en verdad producirse con los tubos de flautas; pero convienen perfectamente á los tubos de boquilla; porque suponiendo fija la longitud del portaviento, asi como la del tubo de salida colocado mas allá de la boquilla, ésta con la dilatacion ó encogimiento de sus labios, puede modificar la corriente de aire, de modo que se obtengan todos los sonidos comprendidos entre los límites estremos á que puede estenderse. En efecto, observando la glotis de los perros durante la produccion permanente de la voz, ha visto Mr. Magendie que en los sonidos mas graves, los labios de la glotis vibraban en toda su longitud; pero á medida que el tono se elevaba se unian y apretaban uno contra otro cada vez mas, de modo que disminuian la longitud de la parte vibrante, hasta que llegando al límite de los sonidos agudos, la glotis no presentaba sino una hendidura muy pequeña, por la cual tenia que pasar todo el aire que salia del pecho. Este juego es perfectamente análogo al de nuestras boquillas, cuya lengüeta se acorta á medida que se quiere hacer subir el tono; pero en estas, aun cuando esten perfectamente libres, cambia siempre un poco el tono si la fuerza del viento sufre grandes variaciones de intensidad. Mr. Grenié ha hallado que se puede corregir este defecto

poniendo sobre las boquillas en el tubo bocal, pequeñas laminitas de papel, fijas solamente por su base; las cuales elevándose cuando se acelera la corriente, y bajándose cuando se modera, pueden modificar las ondulaciones con sus diferentes posturas, de manera que permanezca constante el tono, con una intensidad diferente de sonido. Se puede, pues, juzgar que la epiglotis colocada del mismo modo y de una figura igual con corta diferencia, está destinada entre otras cosas á producir un efecto semejante, y que de este modo nos dá la facultad de aumentar los sonidos cuando queremos sin alterarlos.

Al estudiar el sonido de las boquillas hemos observado que aunque el tubo bocal no determina precisamente los sonidos, tiene influencia sobre su voz y sobre la mayor ó menor facilidad de producirlos; tal será, pues, en el hombre el efecto de la boca y del conducto gutural. Asi, si se hace un agujero en esta parte del canal, no impedirá que pueda producirse el sonido, y solamente cambiará su calidad; y esto es lo que se observa efectivamente en los individuos á quienes natural ó artificialmente se ha hecho alguna abertura mas arriba de la laringe. Tambien se puede obtener una prueba muy clara de esto sin necesidad de operacion ninguna. En efecto, hay en el fondo de la boca un agujero semejante que se comunica con los conductos de la nariz y de estos con el aire esterior, que puede abrirse ó cerrarse como se quiera por medio de una válvula membranosa, llamada *velo del paladar*. En la produccion habitual de la voz, esta válvula se aplica sobre el agujero y le cierra; de suerte que el aire sale únicamente por la boca; pero haciendo un pequeño esfuerzo para dejar pasar el aire á los conductos nasales, se impide la aplicacion de la membrana, el agujero queda abierto y el sonido sale á un mismo tiempo por las narices y por la boca, que es lo que se llama *hablar con las narices*. Todo el mundo sabe que en este caso la voz adquiere

una calidad particular y distinta de la que tiene ordinariamente.

Por el contrario, si se hace un agujero en el portaviento de una boquilla, el viento saldrá por él, y suponiendo que sea bastante ancho, la boquilla no sonará. Esto es exactamente lo que sucede á las personas á quienes se hace una abertura fistulosa por debajo de la laringe, pues no pueden hablar sino despues que tapan esta abertura. Mr. Magendie ha visto un individuo que se hallaba en este caso y que tenia que llevar siempre un corbatin muy apretado para poder hablar.

La prolongacion ó encogimiento de que es susceptible la traquiarteria, aunque muy limitada, pueden servir tambien para variar los tonos, sobre todo en los casos estremos, en que acaso no será suficiente la influencia de la epiglotis, pues Mr. Grenié ha reconocido que en las boquillas, la longitud del portaviento tiene una influencia análoga. Sin embargo debemos observar que esta influencia y la de la epiglotis como membrana compensatriz, no son elementos esenciales para la produccion del sonido; de suerte que verosimilmente pudiera destruirse la epiglotis, sin que dejara de formarse la voz. Pero su falta deberia notarse en el canto en que unos mismos sonidos deben producirse con diferentes intensidades, y aun á veces con una intensidad variable en un mismo tono.

La estension de las diferentes voces humanas, desde la mas grave hasta la mas aguda, comprende como unas tres octavas; y las voces mas estensas, apenas pasan de dos octavas de sonidos claros y exactos. Las voces mas graves del hombre comprende comunmente desde *sol*$_1$ á *fa*$_3$, llamando *do*$_1$ al *do* de un violon, ó al sonido fundamental de un tubo cerrado de cuatro pies; y las voces mas altas de muger comprenden ordinariamente de *re*$_3$ á *la*$_4$. En general las voces de los niños y de las mugeres, son mas agudas que las de los hombres for-

mados, porque las láminas de su glotis son proporcionalmente mucho mas cortas. En el hombre aumentan hácia los quince ó diez y seis años, y adquieren en poco tiempo una longitud casi doble de la que tenian; de donde proviene la alteracion que se nota en esta época en la calidad de la voz, haciéndose muy grave. En cuanto á su volúmen absoluto depende en cada individuo del grueso de los labios de la glotis y de la fuerza de respiracion que pueden ejercer los pulmones.

Despues de estas esplicaciones, será muy fácil entender las modificaciones esenciales que presenta el órgano de la voz en diferentes animales. Los pormenores siguientes los he tomado de las lecciones de anatomía de Mr. Cuvier.

Los animales que tienen pulmones, es decir, los mamíferos, los pájaros y los reptiles, son los únicos que tienen verdaderamente voz. La naturaleza del órgano bocal, es en todos ellos esencialmente la misma; es un instrumento de boquilla libre que hace sonar el aire respirado por los pulmones; pero hay grandes diferencias en la disposicion de este mecanismo.

Los mamíferos y los reptiles no tienen como el hombre sino una sola glotis colocada en el parage en que la traquiarteria viene á terminar en la boca; su voz se produce, pues, absolutamente del mismo modo. Pero solo el hombre por la flexibilidad de los labios, la movilidad de su lengua y demas modificaciones de la boca, es susceptible de una variedad de articulaciones de que carecen los demas animales, cuya organizacion es mas imperfecta.

La clase de los pájaros que contiene cantores tan melodiosos, presenta en la construccion del órgano bocal diferentes particularidades, cuya influencia sobre la variedad de los sonidos se conoce fácilmente. La mas digna de atencion es que la glotis y las láminas vibrantes se hallan colocadas en

ellos casi á la salida del pulmon en el origen de la traquiarteria. Por lo demas, aunque esta es proporcionalmente mas larga y mas estensible que la de los mamíferos, es aun demasiado corta para que los sonidos graves que salen de ella puedan producirse como en un tubo de flauta. Esto basta para probar que en esta clase, como entre los mamíferos, el instrumento vocal es una boquilla; y la prueba de que esta se halla colocada á la parte inferior de la traquea, es que si se le corta el cuello á un pájaro chillon á bastante distancia de la cabeza, como ha hecho Mr. Cuvier, sigue chillando como antes; porque el instrumento que produce en él el sonido existe áun, á lo menos en la parte mas indispensable para la formacion de la voz.

He dicho ya que la traquea de los pájaros era mas estensbile que la de los mamíferos; pero aun ofrece otra particularidad, y es que su estremo superior puede estrecharse ó ensancharse, de modo que dé un paso mas ó menos libre á la corriente del aire. Las variaciones de longitud y abertura son, pues, dos medios de que puede disponer el pájaro para variar los tonos de su voz; y la intensidad de estos mismos tonos, á la manera que la forma de los tubos que se colocan sobre las boquillas comunes, modifica el tono que dan estas con una determinada longitud de las láminas vibrantes. Pero probablemente este medio auxiliar no sirve mas que para formar las alteraciones mas delicadas, pues hemos visto que el cambio en la longitud de los labios de la boquilla es siempre la causa primera y principal de la variacion de tono.

Tambien hemos visto que la forma del tubo vocal, adaptado á las boquillas comunes modifica la calidad del sonido que estas producen, y le hace mas ó menos semejante al de varios instrumentos. Variedades análogas se verifican en los pájaros por una causa semejante, es decir, por la forma de su traquiarteria. Los que tienen una traquea cónica,

ensanchada hácia la boca, tienen una voz brillante; como las trompetas de los órganos; otros tienen en varios parages de su traquea ciertas tuberosidades que deben modificar la calidad de sus sonidos, como sucede en los órganos con los cañones de chimenea. Pero los pájaros cantores tienen una traquea cilíndrica, toda compuesta de anillos tan finos como hilos; y es claro que la calidad del sonido puede modificarse por la construccion mas ó menos delicada de la traquea, y por la naturaleza mas ó menos elástica de la sustancia que la compone. Tambien debe serlo por la constitucion de la glotis, que puede ser mas ó menos chillona, como sucede á nuestras boquillas comunes. Mas todos estos detalles, cuya variedad se supone fácilmente, no pertenecen á nuestro objeto tan inmediatamente que debamos recorrerlos todos; y asi nos bastará haber presentado el verdadero punto de vista, bajo el cual deben mirarse.

LIBRO CUARTO.

DE LA ELECTRICIDAD.

CAPÍTULO PRIMERO.

Fenómenos generales de las atracciones y repulsiones eléctricas; distincion de dos especies de electricidad.

Todas las propiedades que hemos descubierto hasta ahora en los cuerpos les son inherentes, y parecen esencialmente unidas á la materia de que se componen. Asi es que los cuerpos graves no pueden ser despojados de la gravedad, ni sus moléculas de la propiedad de atraerse mútuamente.

Ahora vamos á examinar otros géneros de modificaciones que pueden darse momentáneamente á los cuerpos, y que son tanto mas singulares, cuanto sin añadir ni quitar á sus partículas ningun principio palpable ó ponderable, desenvuelven en ellas fuerzas muy poderosas, cuya influencia mecánica puede poner en movimiento cuerpos materiales.

Por ejemplo, si se toma una barra de lacre, ó un tubo de vidrio, ó un pedazo de ambar á que no se haya tocado en mucho tiempo, y se acercan á algunos pedacitos de papel, paja ú otros cuerpos ligeros, estos no esperimentarán ninguna impresion; pero si antes de hacer esta prueba se frota ligera y vivamente la barra de lacre, el tubo de vidrio ó el pedazo de ambar, con una tela de lana ó una piel de gato bien seca, acercándolos en seguida á los

cuerpecillos ligeros de que hemos hablado, se verá á estos volar hácia ellos. He aqui, pues, una nueva propiedad, una facultad nueva que el frotamiento ha desenvuelto en estos cuerpos que no la tenian antes. Esta propiedad se llama *electricidad*, de la palabra griega ἤλεκτρον, que significa *ambar*, por ser en esta resina donde primero se descubrió.

Durante algunos siglos no se pasó de esta primera observacion; pero desde mediados del siglo pasado, estos fenómenos, mejor estudiados, han hecho descubrir una multitud de resultados importantes, cuyo conjunto forma hoy una de las partes mas hermosas de la fisica.

El primer paso que hay que dar es estudiar bien el fenómeno fundamental que hemos descrito, y esplicar mejor sus diferentes circunstancias. Para hacerle mas sensible es menester sujetar al frotamiento tubos de vidrio, azufre ó lacre un poco considerables, por ejemplo, de dos centímetros de diámetro, y tres ó cuatro decímetros de longitud. Entonces las atracciones ejercidas sobre cuerpos ligeros son mucho mas vivas, y se les ve partir con rapidez hácia el tubo electrizado. Algunos se adhieren á él; otros, despues de tocarle, son rechazados rápidamente. Si se acerca el tubo á la mano ó á la cara, se siente á cierta distancia una sensacion, semejante á la que produciria una tela de araña; y si se le toca con el dedo ó con una bola de metal, se oye el ruido de una chispita que salta sobre el cuerpo que se le presenta. Esta chispita es visible cuando la esperiencia se hace á obscuras; en cuyo caso se ve tambien que un resplandor azulado sigue constantemente al frotador cuando se mueve sobre el tubo. Se pueden aumentar aun estos efectos substituyendo al tubo un gran globo de vidrio ó de resina, un cilindro ó un disco de vidrio, que apretado entre dos almoadillas, se hace girar por medio de una manija. Este aparato se llama *máquina eléctrica*, y ordinariamente se le añaden otras partes que

hacen mas seguros é intensos los efectos, y que esplicaremos mas adelante, cuando hayamos adquirido los conocimientos teóricos en que se fundan estas disposiciones. Entre tanto este aparato, tal como le acabamos de describir, basta para hacer conocer de un modo evidente los fenómenos que hemos enunciado.

Ignoramos cuál es la naturaleza del principio que produce todos estos fenómenos, cómo se desenvuelve su accion por el frotamiento, y aun cómo existe en los cuerpos; pero cualquiera que sea este principio, le designaremos con el nombre de *electricidad*, asi como hemos llamado *calórico* al principio desconocido del calor.

Todas las sustancias vítreas y resinosas producen estos fenómenos, aunque en diferentes grados; tambien se obtienen con las telas de seda, pero de ningun modo con los metales. Si se toma un tubo de metal en una mano, y se le frota con la otra con una piel de gato ó una tela de lana, ni dará ninguna claridad, ni escitará sensacion alguna en nuestros órganos, ni atraerá los cuerpos ligeros.

Pero si en vez de tener en la mano el tubo metálico se le coloca sobre otro tubo de vidrio ó de resina, bien seco, que le sirva de peana, y se le frota como antes, sin tocarle sino con el frotador, adquirirá todas las propiedades eléctricas. Lo mismo sucederá sacudiéndole con una piel de gato, despues de haberle colgado con cordones de seda, ó teniéndole en la mano, envuelta esta con una tela de seda en varios dobleces. Estas propiedades no subsistirán sino mientras el tubo metálico esté exento de toda comunicacion, pues las perderá al momento que se le toque con el dedo ó con otro pedazo de metal.

Es claro, segun estas esperiencias, que si el metal no adquiria al principio las propiedades eléctricas no era por ser incapaz de recibirlas, sino por ser incapaz de conservarlas, pues cuando las posee

se le quitan tocándole con el dedo ó con cualquier otro pedazo de metal. Asi, cuando se le tenia en la mano para frotarle, la electricidad se perdia al paso que se desenvolvia en él; y no es de admirar el que no produjese ningun efecto. Pero este se ha hecho sensible luego que se ha aislado el metal por medio del vidrio, resina ó seda; luego tenemos una prueba de que estas sustancias se resisten al paso de la electricidad; y en efecto, esta no se esparce rápidamente de un estremo á otro de una cinta de seda, de un tubo de vidrio ó de una barra de resina; porque cuando estos cuerpos se electrizan por frotamiento, si se les toca en una parte se les quita de ella las propiedades eléctricas, pero subsisten en todo el resto; y por esta razon se pueden electrizar estos cuerpos con el frotamiento teniéndolos en la mano por uno de sus estremos.

Esto nos conduce á dividir los cuerpos naturales en dos grandes clases, segun comunican ó no *libremente* la electricidad, llamándolos por consiguiente *conductores* y *no conductores*. Llámanse tambien estos últimos *cuerpos aislantes* porque cuando se emplean como bases sirven para aislar los otros de toda comunicacion con los conductores que pudieran privarles de la electricidad (1).

El aire atmosférico es evidentemente de la clase de los cuerpos no conductores; porque si diese un libre paso á la electricidad, ningun cuerpo sumerjido en él podria producir fenómenos eléctricos durables, siendo asi que un tubo de resina ó de vidrio frotado conserva por bastante tiempo sus propieda-

(1) Antiguamente se daba á los cuerpos no conductores el nombre de *idio-eléctricos*, es decir, eléctricos por sí mismos, y y á los cuerpos conductores el de *anelèctricos*, esto es, no eléctricos; porque se creía que solos los primeros podian electrizarse por frotamiento; pero este es un error. Todos los cuerpos se electrizan frotándolos; la diferencia está en que no todos tienen la facultad de retener la electricidad que se desenvuelve; y en los que no la tienen es preciso aislarlos para que la retengan.

des eléctricas, aunque esté rodeado de aire.

Por el contrario, el agua es un cuerpo conductor; pues si se moja con este líquido ó con su vapor un tubo de vidrio ó resina electrizado por frotamiento, pierde en el instante toda su virtud. Por consiguiente el vapor acuoso, suspenso en el aire, altera las propiedades aislantes de este fluido; y por esta razon jamas salen mejor las esperiencias eléctricas que en los tiempos frios y secos, en que hay suspenso en el aire muy poco vapor acuoso.

Esta propiedad de los cuerpos de retener ó comunicar la electricidad ha sido descubierta por Grey, quien debió á la casualidad su observacion, pero á una casualidad de que supo aprovecharse.

No hay relacion alguna constante entre el estado de los cuerpos y su facultad conductriz. Entre los cuerpos sólidos, los metales transmiten perfectamente la electricidad, y las gomas y resinas secas no la transmiten absolutamente; casi todos los líquidos son buenos conductores; y sin embargo, el aceite lo es muy malo; la cera y el sebo estando frios conducen muy mal la electricidad, y derretidos la transmiten bien. La facultad conductriz se observa en los estados mas opuestos, por ejemplo, en la llama del alcool y en el hielo. La temperatura de los cuerpos parece que no tiene ninguna influencia sensible sobre las chispas eléctricas que salen de ellos, las que salen del hielo no son frias, ni parecen abrasadoras las que se sacan de un hierro ardiendo.

El aire y los gases secos, ademas de la propiedad aislante que poseen, parece tienen tambien la de retener la electricidad en la superficie de los cuerpos por su fuerza de presion. Si se coloca bajo el recipiente de la máquina neumática, un cuerpo conductor electrizado sostenido sobre bases de vidrio ó resina al llegar el aire á cierto grado de rarefaccion el cuerpo pierde toda su electricidad que se arroja sobre los demas cuerpos conductores, por

cuyo medio puede comunicar con el suelo formando un resplandor azulado. Si se coloca en las mismas circunstancias un cuerpo no conductor, por ejemplo, una barra de lacre electrizada por frotamiento, la electricidad le abandona tambien cuando se ha formado el vacío, pero su separacion se efectua con mayor lentitud, y es preciso un intervalo de tiempo bastante sensible para que el cuerpo quede enteramente privado de ella. Estos fenómenos parece que indican que la electricidad solo está contenida en la superficie de los cuerpos conductores por la presion del aire, y en la superficie de los cuerpos no conductores, por esta misma presion unida á la dificultad que sufre para separarse de sus partículas.

La propiedad conductriz de los metales se emplea útilmente para facilitar los usos de la máquina eléctrica. Se cuelga de cordones de seda ó se coloca sobre cilindros de vidrio una barra metálica dispuesta de modo que uno de sus estremos esté casi tocando al globo ó disco que se electriza por frotamiento, con lo cual á medida que se desenvuelve la electricidad pasa á este conductor metálico aislado y se conserva en él. Si se toca este primer conductor con otra barra metálica igualmente aislada, sosteniéndole por la materia aislante, esta segunda barra se hace eléctrica á su vez, y de este modo se puede conducir la electricidad á donde se quiera. Nada importa el punto en que se toque el primer conductor, pues por cualquiera comunica la electricidad. Si se une á él un hilo metálico de una longitud arbitraria, aunque sea de mil metros, este hilo se electrizará instantáneamente en toda su estension con tal que se encuentre aislado. Tambien se puede continuar la comunicacion por medio de masas de agua líquida contenida y aislada en vasos de vidrio. Estas son consecuencias y pruebas del libre paso que dejan á la electricidad los cuerpos conductores.

Para que salgan bien las esperiencias es preciso que se hallen perfectamente secos los cordones de seda ó los tubos de vidrio, pues de otro modo se debilitan las propiedades eléctricas y cesan en muy poco tiempo. Los hilos de seda muy frios y muy secos forman escelentes aisladores para los cuerpos ligeros. Si se cuelga de un hilo semejante una bolita de médula de sahuco, sustancia muy ligera y eminentemente conductriz se tiene sin coste ninguno uno de los aparatos mas útiles para estudiar la teoría de la electricidad. Para mayor comodidad en las esperiencias, es necesario unir este pendulito á una varilla sólida encorbada colocada sobre un pie movible como manifiesta la fig 1.

Si se hace tocar esta bolita á un tubo de vidrio ó de resina electrizado por frotamiento y se la separa de él sin tocarla, habrá adquirido todas las propiedades eléctricas; atraerá pajas, polvos y cualesquiera otros cuerpecillos ligeros que se la presenten; si se lleva la mano hácia ella se la verá acercarse, y en fin habrá sido electrizada por *comunicacion.*

Estas propiedades subsistirán por bastante tiempo, sobre todo si el aire está seco, mientras no se toque á la bolita, pero tocándola perderá inmediatamente la electricidad, y volverá á su estado natural.

Tanto en este caso como en el de tocar el conductor metálico electrizado se puede preguntar dónde se va la electricidad y por qué no produce ya ningun efecto. La esperiencia siguiente nos lo va á manifestar.

En vez de tocar la bolita con el dedo, tóquese con otra bolita igualmente colgada de una seda que la aisle, pero cuyo volumen sea ochenta ó cien veces mayor que el de la primera. Despues del contacto se hallará que esta ha perdido su virtud eléctrica casi tan completamente como si se la hubiese tocado con el dedo. De este modo veremos

que una cantidad de electricidad dada, pierde de su intensidad, distribuyéndose en una superficie mayor, pues el interior de las bolas no hace nada, y el fenómeno se verifica igualmente que esten llenas ó vacias. Segun esto es fácil concebir que la bolita pierde su virtud eléctrica al tocarla, porque la reparte con el cuerpo humano, y la masa inmensa de la tierra, que son cuerpos conductores, con los cuales se halla entonces en comunicacion. Asi es que en las esperiencias eléctricas se llama muchas veces á la tierra el *depósito comun* de la electricidad.

Examinemos ahora mas de cerca lo que sucede cuando se aproxima por primera vez el tubo frotado á la bolita para electrizar esta. Desde luego se acerca al tubo y se une á su superficie; pero luego que ha estado unida á él un instante muy pequeño que basta para hacerla participar de la electricidad del tubo, es rechazada por este, y parece que huye de él mientras conserva las propiedades eléctricas. Es verdad que acercando de repente el tubo á la bolita se consigue algunas veces hacer que esta se acerque, cambiando asi en atraccion la repulsion, pero este es un fenómeno compuesto, cuya causa descubriremos mas adelante. Y limitándonos ahora á lo que sucede cuando se presente el tubo desde lejos á la bolita, como para observar sus movimientos despues que ha recibido la electricidad se la ve huir constantemente. De donde sacaremos esta consecuencia importante, que á escepcion de ciertos casos particulares, cuya causa indagaremos despues, los cuerpos electrizados por participacion se rechazan entre sí.

A la verdad parece á primera vista que la esperiencia anterior no nos autoriza enteramente á sacar esta induccion. En efecto, se ve que la bolita huye del tubo, cuya electricidad ha participado, pero no se ve que el tubo huya de la bola, lo cual proviene únicamente de que es demasiado pesado.

La bolita se mueve sola porque no puede hacer mover el tubo, pero para ponerlos en circunstancias semejantes tomemos dos bolitas iguales y unámoslas á los dos estremos de un hilo de lino, que es un cuerpo conductor de la electricidad, colguemos este hilo por su punto medio de otro hilo de seda, como manifiesta la fig. 2; en este caso las dos bolitas comunicarán entre sí por el hilo de lino, y su sistema se hallará aislado en el aire por el hilo de seda. Toquemos las dos bolitas, ó una de ellas, con un tubo electrizado; no solo veremos que huyen de este despues de haber recibido la electricidad, sino que tambien huyen una de otra, separándose los dos metales del hilo de lino como manifiesta la fig. 3.

La repulsion de la bolita electrizada, fig. 1, se verifica igualmente cualquiera que sea la naturaleza del tubo que se emplee para comunicarla la electricidad con tal que sea siempre el mismo tubo el que se la presente. Pero si despues de haberla comunicado la electricidad de un tubo de vidrio frotado con lana se acerca á ella un tubo de resina ó azufre frotado del mismo modo, lejos de huir de este nuevo tubo, se acercará á él con una avidez mucho mayor que la que manifestaria sino hubiera sido electrizada anteriormente. Lo mismo sucede exactamente si se electriza la bolita con un tubo resinoso y se acerca á ella despues un tubo de vidrio, pues en uno y otro caso hay siempre atraccion.

Vemos, pues, que cuando un cuerpo ha sido electrizado y aislado, como nuestro pendulito, los otros cuerpos electrizados que se le acercan no obran todos sobre él del mismo modo, pues los unos le atraen y los otros le rechazan. Esto nos obliga á distinguir desde ahora dos especies de electricidades, una análoga á la que produce el vidrio frotado con una tela de lana y que llamaremos *electricidad vitrea*; y otra semejante á la que proviene de la resina frotada igualmente con una tela de lana y que

llamaremos *electricidad resinosa.* Este bello descubrimiento se debe á Dufay.

En este caso todos los fenómenos de atracciones y repulsiones que hemos observado hasta ahora, podran espresarse por esta ley sencillísima. *Los cuerpos cargados de electricidad de la misma naturareza se repelen mutuamente y se atraen cuando la electricidad es diferente.*

Aunque esta proposicion parece que sea puramente la enunciacion de los fenómenos, es necesario no unir á ella la idea de una realidad absoluta; porque pueden verificarse movimientos parecidos á los que nos presentan los cuerpos electrizados, sin que haga ninguna verdadera atraccion ó repulsion entre sus partículas materiales. Para presentar un ejemplo de esta verdad supongamos un vaso AB, fig. 4, lleno de un fluido pesado, como agua ó mercurio y colgado verticalmente de un punto fijo S. No tocando á este vaso permanecerá inmóvil en virtud de las leyes del equilibrio, y el fluido pesado que contiene no le hará tomar ningun movimiento horizontal, porque las presiones laterales que se ejercen á una misma profundidad en los sentidos opuestos AB, BA, son iguales entre sí. Pero supongamos que por medio de un espejo ustorio M, se dirige un cono de luz sobre el punto A, haciendo de este modo un agujerito en aquel punto; el líquido saldrá libremente por este agujerito y resultará nula la presion BA mientras permanecerá constante la presion AB, que no siendo contrabalanceada, hará separar el vaso del espejo M, como si fuese rechazado por este. Por el contrario, si el foco del espejo se dirige al punto B, suponiendo transparente la materia del vaso y la del fluido, el vaso se acercaria al espejo como si fuese atraido por él. Sin embargo no hay aqui ninguna atraccion ni repulsion verdadera, pues no es mas que un simple efecto de la presion hidrostática propia del fluido contenido en el vaso AB. Mas no solo esto nos debe prevenir contra la idea

de una atraccion ó repulsion real entre las partículas materiales de los cuerpos electrizados, sino que mas adelante verémos que los movimientos de estos cuerpos se producen por un mecanismo semejante; porque sus partículas materiales, aunque electrizadas, no adquieren ninguna influencia real, unas sobre otras, sino que todo depende de las electricidades vitreas y resinosas que las cubren, y cuya accion recíproca se limita á aumentar ó disminuir sobre ciertos puntos de su superficies la presion que ejerce en ellos la electricidad contra el aire inmediato que la contiene, ó en general contra los obstáculos que se oponen á su separacion. Segun estas consideraciones, si continuamos empleando las palabras atraccion y repulsion para espresar los movimientos de los cuerpos electrizados, será preciso no entenderlas sino como un medio cómodo de comunicar las circunstancias de estos movimientos, y de ninguna manera como una indicacion real de su verdadera causa.

Estas atracciones y repulsiones no se ejercen solamente por medio del aire, sino tambien por medio de los otros cuerpos no conductores, como el vidrio y la resina. Si se cuelga en el centro de un matras de vidrio un tubo de lacre frotado y eletrizado, atrae los cuerpos ligeros situados fuera del matras, como haria sin la interposicion de las paredes de vidrio. Esta transmision se verifica igualmente por medio de los cuerpos conductores, pero se halla encubierta por otro fenómeno de que hablarémos mas adelante.

Para saber si una sustancia dada, frotada de cierto modo, adquiere la electricidad vitrea ó resinosa, es necesario probar el efecto que produce sobre el péndulo eléctrico, cargado ya de una electricidad conocida. Por ejemplo, se toca la bolita con un tubo de vidrio frotado con una tela de lana, y toma la electricidad vitrea. Se frota del mismo modo la sustancia que se quiere esperimentar, y se la acer-

ca al pendulito; si le rechaza ha adquirido la electricidad vitrea; si le atrae, la resinosa. Si se quiere puede repetirse la prueba inversa, dando al pendulito la electricidad de un tubo de resina. Como las señales de electricidad, dadas por algunas sustancias son muy débiles, es conveniente saber aumentar la sensibilidad del aparato. Esto se consigue disminuyendo el diámetro de la bolita de sahuco, y colgándole de un hilo de seda mas fino. Si se emplea este, tal como sale del gusano, dándole tres ó cuatro diámetros de longitud, bastará una electricidad muy débil para ponerle en movimiento. Despues enseñaremos el modo de construir aparatos, aun mas sensibles, cuando hayamos formado una teoría exacta de los fenómenos, con la cual podamos apreciar toda la delicadeza de sus relaciones; pero el que acabamos de describir nos bastará en el mayor número de casos.

Sujetando á esta prueba la electricidad por el frotamiento en un gran número de sustancias, se vé que la naturaleza de esta electricidad, nada tiene de absoluta y depende tanto de la especie del cuerpo frotante como de la del frotado. Por ejemplo, el vidrio pulido frotado con una tela de lana, adquiere como hemos visto la electricidad vitrea; y frotado con una piel de gato adquiere la electricidad resinosa. La seda frotada con la resina adquiere la electricidad resinosa; y la electricidad vitrea si se la frota con el vidrio.

Pondremos una tabla de varias sustancias que adquieren la electricidad vitrea cuando se frotan con las que les siguen en la lista, y la electricidad resinosa frotándolas con las que les preceden.

La piel de gato.
El vidrio pulido.
La tela de lana.
Las plumas.
La madera.
El papel.
La seda.
La goma laca.
El vidrio esmerilado.

Se ve, pues, por esta tabla que no hay ningu-

na relacion aparente entre la naturaleza ó constitucion de las sustancias y la especie de electricidad que desenvuelven frotadas unas con otras.

La única ley general que se ha encontrado en estos fenómenos es que *el cuerpo frotante y el frotado adquieren siempre diversas electricidades, uno resinosa y otro vitrea.*

Para demostrar este resultado es preciso aislar los dos cuerpos que se quieren frotar, para lo cual, si son sólidos se les adaptan cuerpos de vidrio ó de resina, por los que se les sostiene; y es útil siempre que se pueda dar á las sustancias frotadas la forma de láminas, porque asi se verifica la friccion en una superficie mas estensa. Tambien se pueden aislar un cuerpo sólido y una tela, ó dos pedazos de tela, dos pieles de animales &c. Luego que se han frotado algunos instantes, se separan los dos cuerpos, y teniéndolos siempre por el mango se presentan sucesivamente á un péndulo eléctrico muy sensible, cargado de una electricidad conocida y constantemente se halla que uno de ellos le atrae y el otro le rechaza; luego sus electricidades son diversas. Se han hecho infinitas esperiencias para saber cuales son las circunstancias que determinan á cada cuerpo á tomar la especie particular de electricidad que adquieren; pero nada satisfactorio se ha descubierto en este punto. Las mas ligeras circunstancias parece que determinan á veces este fenómeno; por ejemplo, cuando se frota una lámina de vidrio pulido con otro de vidrio esmerilado, la primera adquiere la electricidad vitrea y la segunda la resinosa, sin saber por qué tiene este influjo el pulimento de la superficie. Si dos cintas de seda blanca tomadas de una misma pieza, se frotan una con otra en cruz, la frotada transversalmente adquiere la electricidad resinosa y la que lo es longitudinalmente la electricidad vitrea. Oepinus asegura haber observado un hecho frotando una lámina de cobre con una de azufre, y tambien dos cuadrados de vidrio

entre sí, que siempre los retiraba con electricidades contrarias, pero cada especie de electricidad pertenecia unas veces á una lámina y otras á otra.

De estos fenómenos se deduce una esperiencia bastante curiosa. Suben dos personas sobre taburetes, cuyos pies estan formados de tubos sólidos de vidrio ó de cualquiera otra sustancia aislante; y que por lo mismo se llaman *aisladores.* Una de las personas toma en la mano una piel de gato bien seca, y sacude con ella los vestidos de la otra. La primera adquiere la electricidad vítrea y la segunda la resinosa, como puede comprobarse haciéndoles acercar sucesivamente la mano á un pendulito cargado de una electricidad conocida. Si una persona aislada los toca sucesivamente sacará de cada uno una chispa eléctrica; pero es claro que todos estos fenómenos solo se verifican mientras las personas permanecen sobre el aislador, pues luego que bajan al suelo pierden su electricidad repartiéndola con la masa de la la tierra. Por esta razon, cuando se aisla solo una de las personas, ya sea la que sacude, ya la sacudida, solo la que está aislada da señales de electricidad; y si ninguna está aislada no las da ni la una ni la otra. Ademas, es evidente que no deben tocarse, ni tener ninguna especie de comunicacion sino por medio del frotador.

La piel de gato es muy á propósito para esta esperiencia y otras muchas análogas, porque se electriza con mucha facilidad. Por esta razon, si en un tiempo seco se pasa la mano sobre el lomo de un gato vivo se ven erizarse sus pelos siendo atraidos por la mano, y aun algunas veces se les oye chisporrotear, y se saca de ellos centellitas; mas esto no sucede sino en el tiempo seco, en que el aire aisla muy bien. Los cabellos no engrasados se electrizan tambien con facilidad por el frotamiento, sobre todo cuando son muy finos y flexibles, como lo son ordinariamente de los rubios.

El frotamiento de los líquidos contra los cuerpos

sólidos desenvuelven tambien electricidad. Para probarlo se adapta á la máquina neumática un recipiente cilíndrico de vidrio, cuyo estremo superior está cerrado herméticamente con una cajita de madera llena de mercurio. Se forma el vacío en el recipiente; el mercurio, comprimido por el aire esterior, filtra por los poros de la madera, y cae formando una lluvia muy fria, rozando contra las paredes del cilindro. Entonces, si se le acerca un pendulito eléctrico colgado de un hilo de seda, se observa que el cilindro está electrizado. Para que la esperiencia salga bien es necesario tener cuidado de secar perfectamente el cilindro á fin de que no pierda la electricidad, siempre muy débil, que le da el frotamiento del mercurio contra su superficie.

Esto esplica un fenómeno que se observa en los barómetros privados bien de aire. Cuando se ladean estos barómetros de modo que la columna de mercurio llene rápidamente toda la parte vacía del tubo, si se hace la esperiencia en la obscuridad, se ve producirse instantáneamente una claridad fosfórica, semejante á la que produce en el vacío una corriente seguida de electricidad.

Tambien se puede escitar la electricidad por el frotamiento de un gas contra un cuerpo sólido, pues dirijiendo una corriente de aire atmosférico contra la superficie de una lámina de vidrio por medio de un soplete, el vidrio adquiere la electricidad vitrea. Un pañuelo de seda bien seco, sacudido en el aire, se electriza tambien, pero resinosamente.

El frotamiento no es el único modo de desenvolver la electricidad, aunque es el mas comun; pues tambien se escita, por ejemplo, en la fusion de los cuerpos. Si se vierte azufre derretido en un vaso de metal aislado, el azufre al enfriarse toma la electricidad vítrea y el metal la resinosa: algunas veces es contrario el fenómeno; pero siempre se producen á un mismo tiempo ambas electricidades.

Varias sustancias minerales cristalizadas, de natu-

raleza vítrea, tienen tambien la propiedad de electrizarse cuando se calientan hasta cierto punto. En este caso, uno de los estremos del cristal adquiere la electricidad vítrea y el otro la resinosa; de modo que estan separadas las partes en que dominan, aunque se producen simultáneamente.

En fin, se desenvuelve tambien la electricidad en muchas combinaciones químicas, y aun en el simple contacto de las sustancias heterogéneas; pero para estudiar, y aun para percibir estos fenómenos, se necesitan aparatos mucho mas compuestos y sensibles que los que hemos podido formar hasta ahora, por lo cual nos ocuparemos de este punto mas adelante.

CAPITULO II.

Leyes que siguen las atracciones y repulsiones aparentes de los cuerpos electrizados.

Habiendo ya reconocido el fenómeno de las atracciones y repulsiones eléctricas, la primera cosa que es preciso hacer es determinar las leyes, segun las cuales se ejercen á diferentes distancias; lo cual se consigue fácilmente por medio de la balanza de torsion que hemos descrito en el capítulo 22 del libro 2°; y este descubrimiento, debido á Coulomb, es ciertamente una de las mas preciosas aplicaciones que ha hecho de su instrumento.

Hemos visto alli que este instrumento se compone de un tubo metálico vertical, cuyo estremo superior está unido á un punto fijo, y el inferior lleva una aguja horizontal. Cuando se quieren apreciar fuerzas muy pequeñas se las hace obrar sobre el estremo de esta aguja, y se mide su intensidad por el número de grados que se mueve la aguja. En una palabra, se balancean estas fuerzas con la de torsion, que es siempre proporcional al ángulo de torsion, como entonces vimos por esperiencia.

Para aplicar este instrumento á la medida de las atracciones y repulsiones eléctricas se forma la aguja de goma laca, que es una sustancia muy aislante, y se fija en uno de sus estremos una bolita de sahuco *b*, fig. 5. Despues, habiendo colocado el índice del micrómetro de torsion M sobre el o de la division, se vuelve el cilindro en el que está colocado, hasta que la bolita *b* venga á colocarse delante del o de la division trazada sobre las paredes del instrumento (1). Se conoce que se verifica esta condicion, cuando mirando desde el lado opuesto de la caja de vidrio en el plano vertical que contiene el hilo de suspension y la aguja, se ve que esta se dirije hácia el punto O.

Hecho esto se fija otra bolita *a* al estremo de un cilindro muy delgado de goma laca, y cuya longitud sea tal, que introducido verticalmente en el interior de la caja de vidrio, baje esta bolita al nivel de la anterior, y se coloca de modo que esta segunda bolita corresponda tambien al o de la division lateral, del mismo modo que se hizo con la anterior. Entonces la primera se halla separada de este punto por un arco igual á la suma de los radios de las dos bolas, y la pequeña torsion que resulta de esto las mantiene en contacto.

Ahora bien, es claro que si se toca una de estas bolas con un cuerpo electrizado y aislado, se

(1) Esta division se marca sobre una tira de papel, que se pega horizontalmente al rededor de la caja de vidrio, y si esta es circular se hace la division en grados. Pero cuando se tratan de introducir cuerpos de un volúmen un poco considerable, no se hallan cilindros de vidrio bastante grandes para formar las paredes del instrumento, y se forma la caja con cuatro cristales verticales, cuya seccion forma un cuadrado. Entonces la tira de papel pegada sobre estos cristales á la altura de la aguja forma un cuadrado en que se halla inscripto el círculo que forma la aguja. Se señala, pues, el o de la division en el punto en que la direccion de la aguja es perpendicular á cada lado, y se marcan á uno y otro lado de este punto divisiones desiguales que representan las tangentes de los arcos de 1.°, 2.°, 3.° &c.

electrizarán ambas por comunicacion, y del mismo modo una que otra; por consiguiente deberán rehacerse; mas como solo la primera es movible, la aguja en que se halla colocada girará una cierta cantidad; y despues de algunas oscilaciones se detendrá en un punto que se verá en la division lateral. Entonces el grado de torsion que exista en el hilo equilibrará la fuerza repulsiva de las dos bolas, y por tanto podrá servir para medirla.

En efecto, asi es como se procede; pero no siendo necesaria sino una fuerza muy pequeña para hacer formar un gran ángulo de torsion á un hilo de metal, no deben comunicarse á las bolas sino cantidades muy pequeñas de electricidad. Para conseguirlo se les toca simplemente con la cabeza de un alfiler grueso, cubierto con lacre, electrizándose esta misma cabeza por comunicacion, ya poniéndola un instante en contacto con el primer conductor de una máquina eléctrica, ya tocándola con un tubo de vidrio ó de resina frotado. Se introduce en la caja de vidrio por una aberturita hecha de un modo conveniente, teniéndola agarrada por el lacre que la aisla, y luego que ha tocado la bola fija se retira inmediatamente.

Procediendo de este modo, halló Coulomb en una de sus esperiencias que despues del contacto, la aguja habia descrito un ángulo de 36.°; torció el hilo de suspension en sentido contrario á esta torsion, de modo que se acercase la aguja hasta los 18.° de la bola fija, para lo cual fue necesario hacer girar el índice del micrómetro 126.° En fin, aproximó la aguja hasta los $8\frac{1}{2}$.°, y cuando lo consiguió halló que la marcha total del índice del micrómetro, contada desde el 0 de la division, habia sido de 567.°

Durante estas esperiencias, las bolas no perdieron su electricidad de una manera sensible; porque habiendo sabido Coulomb por esperiencias anteriores que aquel dia las bolas electrizadas rechazadas á 30.°

de distancia una de otra se acercaban solo un grado en tres minutos; y no habiendo empleado mas que dos en hacer las tres esperiencias que hemos referido, es claro que podia despreciar y mirar como insensible la diminucion que sufria la electricidad de las bolas, tanto por el contacto del aire, como á lo largo de los cuerpos que las sostenian. Esto provenia, como veremos mas adelante, de la gran sequedad del aire aquel dia, y de la escelente eleccion de cuerpos aislantes.

Para descubrir los resultados de estas esperiencias, representemos por *abd*, fig. 6, la circunferencia descrita por el móvil *b*; sea *c* el centro de esta circunferencia, y tomemos el arco *ab* de 36.°, como hemos hallado ser en la primera esperiencia. Entonces la fuerza repulsiva de las dos bolas era contrabalanceada por una torsion de 36.° en la direccion *ab*, pues por las disposiciones tomadas al empezar la esperiencia, la torsion es nula cuando la aguja está en el punto *a*.

En la segunda esperiencia se tuerce el hilo 126.° en la direccion *ba*. Si la aguja estuviese libre, esta torsion la conduciria á *d'*, 126.° mas allá del punto *a*; pero la fuerza repulsiva la detiene en *b'* á 18.° al otro lado de ese punto. Luego á esta distancia la fuerza repulsiva de las dos bolas equilibraba una torsion de $126.° + 18.° = 144.°$

En fin, en la tercera prueba, la torsion indicada por el micrómetro es de 567.°, siempre en la direccion *ba*; pero en vez de ir 567.° mas allá del punto *a*, la aguja ha quedado á $8\frac{1}{2}.°$ antes de llegar al tal punto; y por consiguiente la fuerza repulsiva que la mantenia á esta distancia equilibraba á una torsion de $567.° + 8\frac{1}{2}.° = 575\frac{1}{2}.°$

Tenemos, pues, esta tabla comparativa entre las torsiones y las distancias.

ARCO DE DISTANCIA DE las dos bolas.	MEDIDA DE LA FUERZA repulsiva por la torsion.
36.º	36.º
18.º	144.º
8.º½	575.º½

Se ve, pues, en ella una ley digna de notarse. Los arcos de distancia contenidos en la primera columna son entre sí, poco mas ó menos, como los números 1, ½, ¼; y las torsiones correspondientes que miden los efectos de las fuerzas repulsivas sobre la aguja son entre sí como los números 1, 4, 16, es decir, recíprocamente proporcionales á los cuadrados de los anteriores. Estas relaciones prueban que las fuerzas eléctricas siguen como la atraccion celeste la razon inversa del cuadrado de las distancias.

Es cierto que la distancia entre las dos bolas es igual á la cuerda que las une, y no al arco circular que la cuerda sobre tiende; y ademas, la fuerza repulsiva que ejercen una sobre otra obra oblícuamente sobre la aguja, y por consiguiente no contribuye toda ella á hacerla girar. Pero esta oblicuidad es muy pequeña en nuestras esperiencias, por causa de la corta estension de los arcos; y esta misma razon hace tambien que haya muy corta diferencia entre los arcos y sus cuerdas. Estas circunstancias legitiman, pues la consecuencia que hemos sacado de nuestras observaciones. Pero se puede poner enteramente fuera de duda haciendo el cálculo de una manera exacta; pues se halla que cuando los arcos de repulsion no pasan de 36.º, las relaciones sacadas de los arcos y las que se deducen de las distancias no se diferencian en cantidades sensi-

bles para las observaciones. Conteniéndonos, pues, dentro de estos límites, podremos aplicar la ley del cuadrado de las distancias á los mismos arcos, lo cual simplificará mucho los cálculos.

El hilo empleado por Coulomb en estas esperiencias era de plata, y por su finura tenia una estrema sensibilidad de torsion. Coulomb inventó tambien aparatos aun mas sensibles, destinados á indicar las mas pequeñas cantidades de electricidad, fig. 7. Estos instrumentos, que llamaremos *electróscopos*, son verdaderas balanzas eléctricas, en que al hilo de metal se sustituye un simple hilo de seda, tal como sale del gusano, de cuatro pulgadas de longitud. La aguja es un hilito de goma laca de doce líneas de largo, terminado por uno de sus estremos en un circulito de oropel muy ligero (1). En uno de estos instrumentos empleado por Coulomb, la aguja y el oropel pesaban juntos $\frac{1}{4}$ de grano. El hilo de seda de esta longitud tiene una flexibilidad tal, que obrando sobre él con un brazo de palanca de una pulgada, no es menester mas que $\frac{1}{60000}$ de peso, para hacerle mover 360.° Para comunicar la electricidad al oropel, se hace atravesar por medio de una barra de lacre, un hilo de cobre, terminado por una y otra parte en una bolita de sahuco dorada, y por la otra en otra bolita metálica ó en un ganchito, cuya punta entre en el lacre. Esta barrita, dispuesta asi, se introduce en la caja de vidrio, dejando á fuera el ganchito, y se le coloca de modo que el centro de la bola dorada, vista por el hilo de sus-

(1) Estos hilos se hacen muy fácilmente calentando á la llama de una bugía la parte media de una barrita de goma laca que se tiene agarrada por ambos estremos. Cuando empieza á fundirse se separan rápidamente los dos estremos, y la materia fundida forma ordinariamente un hilo muy fino, unido por una y otra parte á los dos estremos sólidos. Del mismo modo se hacen hilos de lacre y àun de vidrio; pero respecto á estos últimos, no basta el calor de una bugía, á no emplear un tubo muy frio, y es preciso usar la lámpara de los esmaltadores.

pension, corresponda al o de la division sobre las paredes de la caja. Cuando la aguja se halla en reposo se vuelve con cuidado el índice del micrómetro de torsion, hasta que el oropel venga á tocar con la bola dorada, y entonces se halla preparado el instrumento. Si se electriza de cualquier modo el ganchito de cobre, la electricidad se propaga á la bola y al oropel, que es rechazado inmediatamente. La sensibilidad de estos electróscopos es tal, que si habiendo electrizado por frotamiento una barra de lacre se presenta á tres pies de distancia al ganchito esterior, la aguja gira mas de 90.° Mas adelante veremos cómo la electricidad puede desenvolverse á esta distancia y sin ningun contacto; por ahora no presentamos este resultado sino como una prueba de la estrema sensibilidad del instrumento. Por medio de este electróscopo es muy fácil repetir todas las esperiencias esplicadas en el capítulo anterior sobre la naturaleza de la electricidad, escitada en diferentes cuerpos por su mútuo frotamiento.

Habiendo determinado las leyes de la repulsion eléctrica, era natural buscar las de la atraccion que se ejerce entre los cuerpos cargados de diferente electricidad; lo cual ha hecho el mismo Coulomb por distintos métodos. Pero entonces es menester que las bolas no se toquen en su posicion inicial antes de ser electrizadas, sino por el contrario, que se hallen separadas, y que la torsion las impida reunirse. Para esto se empieza quitando la bola fija a, fig. 8, y dando á la bola movible por medio de la cabeza de alfiler aislada una electricidad conocida, por ejemplo, resinosa. Hecho esto se vuelve el índice del micrómetro una cantidad conocida c; estando el hilo libre seguirá este movimiento, y al cabo de algunas oscilaciones se detendrá el estremo de la aguja en otro punto b de la circunferencia separado c grados de aquel en que se hallaba anteriormente. Esta operacion, pues, habrá transportado el o de torsion la cantidad c en la direccion ab.

Entonces se volverá á colocar la bola fija *a*, dándola una electricidad distinta de la primera, que en nuestro ejemplo será la electricidad vitrea. Atrayéndose recíprocamente las dos bolas, la aguja se encaminará hácia la bola fija *a*, y *si el equilibrio es posible*, se detendrá en un punto que llamaremos *b'*. Se observará este punto en la division, y despues volviendo el micrómetro á uno y otro lado cantidades conocidas para variar la torsion, se observará del mismo modo en cada caso la nueva posicion en que se detiene la aguja. Despues comparando las torsiones y las distancias como al estudiar la repulsion, se hallará que siguen una ley semejante; de donde deduciremos que las fuerzas de atraccion producidas por las electricidades de diferente naturaleza, son como las fuerzas repulsivas, recíprocamente proporcionales al cuadrado de la distancia.

En estas esperiencias es preciso tomar una precaucion, sin la cual no podrian salir bien. Cuando la fuerza atractiva de las dos bolas las obliga á acercarse, la intensidad de su atraccion aumenta á medida que se hace menor su distancia, y si no hubiese mas que esta causa, acabarian uniéndose. Pero la torsion se opone á que se acerquen, y la resistencia aumenta al paso que la aguja se separa del punto primitivo *b* para dirigirse hácia la otra bola, y en llegando á cierta distancia esta resistencia no crece lo necesario para vencer el aumento de la fuerza de atraccion, de suerte que no pudiendo verificarse el equilibrio, la bola movible, al llegar á este punto, se precipita sobre la otra, y asi llegan siempre á unirse. Un cálculo muy sencillo puede hacer esto evidente y determinar los límites de separacion en que es preciso detenerse.

Tambien sucede que se llegan á unir aun en estos casos en que segun el calculo debe verificarse el equilibrio. Esto proviene de que la flexibilidad del hilo de suspension permite á la aguja oscilar algun tiempo al rededor del punto de equilibrio en

que al fin debe fijarse, y si la amplitud de estas oscilaciones conduce á la bola movible á una distancia tal de la bola fija que la atraccion aumente con mayor rapidez que la torsion, esta no basta para hacer volver la aguja, y la bola movible es atraida hasta ponerse en contacto con la otra.

Coulomb ha determinado asimismo la ley de las atracciones eléctricas por otro método que descubriremos tambien, porque ofrece una comprobacion del anterior y porque nos servirá igualmente para la teoría del magnetismo. Consiste en colgar horizontalmente de un hilo de seda una aguja de goma laca, en cuyo estremo hay un disco de oropel electrizado. Delante de esta aguja y á alguna distancia de ella se coloca un globo cargado de una electricidad diferente que la atrae y la hace oscilar en virtud de su atraccion; y en seguida se determina por el cálculo la fuerza atractiva á diferentes distáncias por el número de oscilaciones que ejecuta la aguja en un tiempo dado, del mismo modo que se determina la fuerza de la gravedad terrestre por las oscilaciones del péndulo ordinario. Los resultados obtenidos de este modo confirman la ley del cuadrado de las distancias que ha hecho descubrir la balanza de torsion.

El mismo método podria usarse para determinar la ley de las repulsiones, pues comunicando una misma electricidad al globo y al disco, este será rechazado y se cambiará la direccion de la aguja que oscilará en virtud de esta repulsion en una direccion diametralmente opuesta á la primera; pero á escepcion de este cambio, que influirá sobre la distancia del disco al globo, las observaciones y los cálculos se harán del mismo modo que anteriormente.

Por medio de los resultados que acabamos de obtener se puede calcular la energía de la repulsion ó de la atraccion de dos bolas electrizadas á todas las distancias que se quieran, luego que se conozca esta energía respecto á una distancia determinada.

Pero esto no da aun mas que la medida del efecto total sin verse en qué proporcion contribuye cada bola. Sin embargo, á menos que no sean perfectamente iguales é igualmente electrizadas, es claro que deben contribuir diferentemente. Nos falta pues, descubrir esta proporcion.

Esto se conseguiria con mucha facilidad si se pudiera dar ó quitar á una de las bolas una porcion de electricidad que tuviese una relacion conocida con la que ya posee; porque midiendo la nueva torsion que hace equilibrio á este último estado, y comparándola con la que se verificaba al principio á igual distancia, se sabria cómo influye la electricidad propia de cada bola sobre su esfuerzo total. Ahora bien, es muy facil quitar así á una bola una cantidad de electricidad que sea exactamente la mitad de la que tiene, pues bastará tocarla un instante con otra bola de la misma naturaleza de igual diámetro y aislada con igual perfeccion; porque siendo todo simétrico en ambas bolas, es claro que la electricidad deberá repartirse igualmente en ellas, de manera que despues del contacto, la accion propia de la bola colocada será la mitad menor. Obrando de esta manera se halla que la fuerza total de atraccion ó de repulsion que se verificaba primitivamente entre esta bola y la fija se halla reducida exactamente á la mitad.

Esta reduccion, no solo se verifica en bolas, sino tambien en círculos, y probablemente en todos los cuerpos, cuya forma ó distancia entre sí es tal que en el cálculo de su atraccion puedan considerarse como puntos. Coulomb ha sustituido á la bola fija de la balanza un círculo de hierro de 10 líneas de diámetro, dejando siempre una bola de sahuco al estremo de la aguja. Ha electrizado simultáneamente estos dos cuerpos por medio de la cabeza de alfiler; la repulsion ha rechazado la aguja; y cuando la ha vuelto á conducir á una distancia de 30° el micrómetro marcaba 110: la fuerza re-

pulsiva era, pues, 140°. Entonces ha tocado un momento el círculo de hierro con otro de igual materia y diámetro; al momento se ha acercado la aguja, y para conducirla como en el primer caso á 30° de distancia, ha sido necesario destorcer el hilo hasta llegar el índice del micrómetro á 40°; de suerte que la fuerza repulsiva quedaba reducida á 40°+30°=70°, mitad de 140°, que era su intensidad primitiva.

Estas esperiencias presentan ademas una particularidad digna de notarse, y es que la distribucion se verifica exactamente del mismo modo, cualquiera que sea la naturaleza de los cuerpos conductores que se pongan en contacto, con tal que sean las mismas sus dimensiones. Coulomb ha tocado la bola fija de sahuco con bolas iguales de cobre y de otras muchas sustancias: ha tocado tambien el círculo de hierro con un círculo de papel de igual diámetro, y la distribucion se ha hecho siempre del mismo modo.

Estas observaciones nos conducen á dos consecuencias importantes. La primera es que variando la fuerza total de atraccion ó de repulsion respecto á cada distancia en la misma relacion que las cantidades de electricidad propias de cada uno de los cuerpos que obran, es preciso que la espresion de su energía sea proporcional al producto de estas dos cantidades; y por consiguiente cada bola ó cada círculo contribuye al esfuerzo total que los atrae ó separa, segun el valor del factor que introduce en el producto. De aqui en adelante llamaremos á este factor la *reaccion eléctrica* de la bola ó del círculo, cuya accion mide; y por analogía estenderemos la misma denominacion á todos los cuerpos de cualquiera forma que sean cuando su accion eléctrica se observe á distancias bastante grandes para poderlos considerar como simples puntos.

La segunda consecuencia es que la distribucion de la electricidad entre cuerpos conductores de la misma figura y volúmen, se verifica siempre en pro-

porciones iguales, de donde resulta que estos cuerpos no obran sobre la electricidad por una afinidad química dependiente de la naturaleza y colocacion de las partículas materiales, y no son con respecto á ella mas que vasos en que se distribuye mecánicamente segun sus propias leyes.

CAPITULO III.

De las leyes con que se disipa la electricidad por el contacto del aire y por las bases que la retienen imperfectamente.

La ley general de las atracciones y repulsiones eléctricas queda bien conocida por lo que antecede; pero para comprobar con exactitud sus consecuencias y seguir el principio eléctrico en todos sus efectos mas secretos, es preciso asegurarse de la constancia de su energía, ó á lo menos determinar las leyes con que esta se debilita por el contacto del aire y por la imperfeccion de los sustentáculos aisladores. Tal es el objeto de este capítulo, cuyos elementos se han tomado tambien de los trabajos de Coulomb.

Cuando un cuerpo conductor electrizado se halla sostenido sobre bases aisladoras, enseña la esperiencia que su electricidad disminuye y se aniquila con bastante rapidez. Muchas causas parece que deben concurrir á esto; desde luego no existe probablemente ninguna sustancia en la naturaleza que sea perfectamente aisladora, pues ninguna se conoce que no propague, á lo menos en su superficie, una fuerte electricidad; el vidrio, el lacre, la goma laca la comunican de este modo con dificultad, es cierto, pero de una manera sensible. Esto se puede observar haciendo cilindros de estas diferentes sustancias y teniéndolos en contacto por uno de sus estremos solamente con el conductor de una máquina eléctrica; si al retirarlos se presenta este estremo á

la aguja de un electróscopo, se ve que se ha impregnado de la electricidad del conductor; y aun cortando el estremo de dicho cilindro, se halla que la electricidad se ha propagado tambien sobre el resto de su superficie hasta cierta distancia con una intensidad decreciente.

Todos los sustentáculos de que se hace uso para aislar los cuerpos electrizados deben, pues, producir sobre estos una absorcion análoga, y si son bastante cortos para poderse electrizar en toda su longitud, producirán una salida lenta, pero continua, de electricidad; de manera que en virtud de esta sola causa, la reaccion del cuerpo aislado deberá debilitarse progresivamente.

En segundo lugar, los cuerpos electrizados se hallan siempre rodeados y tocados por todos los puntos de su superficie por el aire atmosférico que comunica tambien la electricidad con una facilidad mayor ó menor, segun la cantidad de vapor acuoso que se halla en él, y acaso segun las modificaciones que el calor ú otras circunstancias produzcan en las propiedades de sus elementos químicos; de manera que se le debe considerar siempre como compuesto de una infinidad de átomos mas ó menos conductores. Segun esto, cada molécula de aire que toca á un cuerpo electrizado debe tomar una parte de su electricidad; y luego que se ha impregnado en la proporcion que conviene á su tamaño y á su facultad conductriz, es rechazada inmediatamente y reemplazada por otra que se electriza como la primera, y es como ella rechazada á su vez; de modo que por solo el efecto de estos contactos sucesivos y renovados contínuamente, la electricidad de los cuerpos debe tambien debilitarse segun una progresion dependiente de la facultad conductriz del aire.

En fin, los vapores acuosos suspensos en el aire, contribuyen tambien á esta pérdida de otro modo, adhiriéndose á la superficie de los sustentáculos en mayor ó menor cantidad, segun se hallan en mayor

ó menor abundancia, y segun tiene mas ó menos afinidad con el agua la materia de los sustentáculos. De estas partículas, las que se hallan mas inmediatas al cuerpo electrizado reciben de él inmediatamente la electricidad; y si la fuerza con que en seguida los rechaza es menor que la adherencia que las une al sustentáculo, deben comunicar en parte esta electricidad á las moléculas inmediatas, y estas á las siguientes; de manera que todas estas partículas eminentemente conductrices forman una cadena en la cual la intensidad de la electricidad debe ir decreciendo segun se separa del cuerpo conductor; pero que sin embargo, cuando el sustentáculo no tiene bastante longitud, puede conducirla hasta el suelo. Si las partículas que forman esta cadena estan mas inmediatas unas á otras que en el aire, como debe suceder muchas veces, la electricidad se perderá con mayor rapidez á lo largo del sustentáculo que por el contacto del aire, lo cual se verifica con mucha frecuencia, como veremos muy pronto.

Por grande que parezca la dificultad de evitar esta última causa, se conoce que es indispensable hacerlo para conocer la diminucion de electricidad producida por el solo contacto del aire, y poder despues contar con este dato en las observaciones compuestas en que se mezcla con la pérdida producida por los sustentáculos. El único medio de conseguirlo es elegir para sostener el conductor las sustancias mas aisladoras que sea posible, y disminuir lo bastante sus dimensiones para que su superficie contenga proporcionalmente menos moléculas de agua y otras partículas conductrices que puede haber en el aire que los rodea, pues en este caso el sustentáculo aislará por lo menos tambien como el aire, y la poca estension en que se halla en contacto con el cuerpo electrizado, hará que pueda despreciarse enteramente la diferencia.

Coulomb ha hallado por medio de diferentes ensayos, hechos con este objeto, que cuando la inten-

sidad de la electricidad no es muy fuerte, un cilindrito de lacre ó de goma laca de media línea de diámetro y 18 ó 20 de longitud, basta casi siempre para aislar una bola de sahuco de 5 ó 6 líneas de diámetro; porque sosteniendo la bola por medio de muchos de estos cilindros en vez de uno solo, la electricidad no se debilita con mayor rapidez, aunque se multiplica la facilidad de la pérdida aumentando el número de puntos de contacto. Igualmente ha observado que cuando el aire está seco, un hilo de seda muy fino pasado por lacre derretido, de suerte que el todo forme en seguida un cilindro de un cuarto de línea de diámetro, todo lo mas, llena el mismo objeto, con tal que se le den 5 á 6 pulgadas de longitud. Un hilo de vidrio formado á la lámpara de 5 ó 6 pulgadas de longitud, no aisla la bola sino en los dias muy secos y estando cargada con una electricidad muy débil; y lo mismo sucede con una seda ó un cabello, á menos que no se hallen cubiertos de lacre, ó mejor aun, de goma laca pura.

Guiado por estas observaciones preliminares, soldó Coulomb la bola fija de su balanza al estremo de un hilo de goma laca pura de 20 líneas de longitud, y acabó de hacer la suspension con una seda muy fina cubierta de lacre, de modo que podia considerar esta bola como perfectamente aislada. La bola movible lo estaba igualmente, puesto que la aguja en que se hallaba colocada era tambien un cilindro muy fino de goma laca. Coulomb eligió al principio las dos bolas de un mismo diámetro, y empleó una balanza tan sensible que la torsion de una circunferencia entera correspondia en el estremo de la aguja á una fuerza de $\frac{1}{340}$ de grano. Conducido el cero de torsion del hilo al centro de la bola fija, y puestas las dos bolas en contacto, se tocan ambas con la cabeza de alfiler electrizada que hemos descrito en nuestras primeras esperiencias, y la repulsion rechaza la aguja movible que despues de al-

gunas oscilaciones se fija á cierta distancia del punto de su partida, por ejemplo á 40°.

Entonces se tuerce el hilo de suspension de modo que se le conduzca á una distancia menor, por ejemplo á 20°, para lo cual es preciso volver el índice del micrómetro 140°. Por consiguiente la fuerza de torsion igual á la repulsion de las dos bolas es $140°+20=160°$.

Se observa en un relox de segundos el instante en que la bola movible se detiene á esta distancia, y es por ejemplo á las 6 y 50 minutos.

Como la electricidad se pierde por el contacto del aire, la fuerza repulsiva de las bolas disminuye gradualmente, y despues de algunos minutos se hallan á menor distancia una de otra que 20°. Para conducirlas á esta distancia se destuerce el hilo una cantidad conocida, por ejemplo 30°; y disminuida su fuerza de torsion de esta cantidad, la bola movible es impelida mas lejos de los 20°. Se espera á que la pérdida de electricidad la conduzca á este punto, y se observa igualmente este instante que es las 6 y 53 minutos; y por consiguiente 3 minutos despues de la primera observacion, entonces la fuerza de torsion igual á la repulsion de las dos bolas, es $140°-30°+20°=130°$. La diminucion de la fuerza repulsiva entre ambas esperiencias es, pues, igual á $160°-130°=30°$, es decir, á la cantidad que se ha destorcido el hilo para conducir las bolas á la misma distancia. Este efecto se ha producido en 3′, y como en intervalos pequeños se halla que es proporcional al tiempo, se sigue que la pérdida es de 10° por minuto. Por otra parte, la fuerza repulsiva media entre las dos observaciones es de $\frac{160+130}{2}=145°$, y comparando con ella la diminucion observada, se ve que la fuerza eléctrica de las dos bolas, disminuia aquel dia $\frac{1}{14\frac{1}{2}}$ por mimuto, por solo el contacto del aire.

Coulomb halló constantemente por medio de esperiencias de este género que en un mismo dia y en un mismo estado del aire, la diminucion de la electricidad en un tiempo muy corto es proporcional á su intensidad; de suerte que la relacion de estos dos elementos es invariable, aunque varía segun la indicacion del higrómetro, y por consiguiente segun la cantidad de vapores acuosos que se hallan en el aire.

Seria muy útil hacer un número mayor de esperiencias sobre este objeto para descubrir la relacion que debe haber entre la cantidad de vapores acuosos y la pérdida mas ó menos pronta de la electricidad. De este modo se sabria tambien si estos vapores solos producen todo el fenómeno, ó si la presion y temperatura de las moléculas de aire contribuyen tambien á modificarle. Si se llegasen á conocer estas diferentes influencias se tendria acaso en la balanza eléctrica el higrómetro mas exacto y mas sencillo. A lo menos por la sola indicacion de los instrumentos meteorológicos podria conocerse cuál debia ser la proporcion en que disminuyese la electricidad. Mas careciendo de estos conocimientos, es preciso determinar directamente esta proporcion cada vez que se necesita conocerla, es decir, siempre que hay que hacer investigaciones exactas sobre la intensidad de las fuerzas eléctricas.

Es una felicidad que sea tan sencilla la ley de esta diminucion; porque puesto que hallándose el aire en el mismo estado es proporcional á la intensidad absoluta de la fuerza repulsiva, basta determinarla cada vez por una sola esperiencia para poder corregir todas las otras. Aun hay mas, la ley que acabamos de hallar proporciona el poder calcular la intensidad de las fuerzas eléctricas respecto á una época cualquiera cuando se ha observado una vez, y se conoce la ley de diminucion correspondiente á este dia. El pormenor de este cálculo le he esplicado en el tratado general; aqui no puedo hacer mas que indicarle. Los resultados que dá conducen

á ver que debe esterderse esta misma ley de diminucion al caso en que los dos cuerpos que obran uno sobre otro son de diferente volúmen y cargados con cantidades desiguales de electricidad; lo cual confirma tambien la esperiencia. Cualquiera que sea el volúmen de la bola fija con respecto á la movible, y la cantidad inicial de electricidad que se les dé y hayan sido electrizadas simultáneamente ó una despues de otra en cualquiera proporcion que sea la diminucion instantánea de su fuerza repulsiva total, medida á una misma distancia, está siempre en una misma proporcion con su intensidad; de manera que todas los observaciones son á propósito para obtener esta relacion constante. Aun es tambien la misma esta relacion cuando se emplean bolas de diferentes materias; la naturaleza de la sustancia de que estan formadas no tiene absolutamente ninguna influencia sobre la pérdida de electricidad por el contacto del aire, á lo menos sobre la parte de esta electricidad que obra á distancia por atraccion y repulsion, lo cual confirma la observacion que hemos ya hecho de que los cuerpos materiales no parece que conservan la electricidad por una afinidad propia, sino solo por la resistencia que opone el aire que los rodea. Por ejemplo, un dia en que la electricidad disminuia $\frac{1}{82}$ por minuto respecto á cada bola de sahuco de la balanza, halló Coulomb que era tambien $\frac{1}{82}$ la diminucion, reemplazando una de las bolas por otra de cobre; y lo que parecerá aun mas estraordinario era tambien $\frac{1}{82}$ respecto á una bola de lacre que se habia cargado de electricidad tocándola á un cuerpo fuertemente electrizado; de manera que en este mismo caso, la especie de dificultad que opone la superficie de un cuerpo semejante á la transmision del principio eléctrico no tenia ninguna influencia para retener la parte de este principio, que puesta en libertad en la superficie se manifestaba por su reaccion.

Hasta aqui no hemos considerado mas que bo-

las; pero cualquiera que sea la figura del cuerpo electrizado, su tamaño y la distribucion de su fuerza repulsiva, si el aire está bien seco y el grado de electricidad dado á los cuerpos no es muy considerable, la diminucion instantánea de la fuerza repulsiva es siempre la misma, y conserva la misma relacion con su intensidad. Coulomb ha hecho esta prueba con un globo de un pie de diámetro y cilindros de todos gruesos y longitudes. Ha sustituido á las bolas de su balanza círculos de papel ó de metal; ha armado una vez una de ellas con un hilo de cobre de 10 líneas de longitud y $\frac{1}{4}$ de línea de diámetro; y ha encontrado que el dia que hacía estas esperiencias, la fuerza repulsiva de todos estos cuerpos de forma tan diferente, disminuía igualmente $\frac{1}{100}$ por minuto. Pero es preciso observar que esta igualdad de diminucion respecto á cuerpos de diferentes figuras, no se verifica sino cuando la intensidad de su fuerza eléctrica se halla reducida á un grado bastante débil, y tanto mas cuanto mas húmedo se halla el aire; porque todos los cuerpos de formas angulares cargados de una fuerte electricidad, pierden el principio de este esceso, segun otras leyes de diminucion mucho mas rápidas que determinaremos despues al tratar de la electricidad de las puntas, hasta que al fin su fuerza eléctrica se debilita y llega á un límite en que la pérdida es constante. Se puede hacer sensible este fenómeno sin hacer uso de la balanza, haciendo comunicar el primer conductor de una máquina eléctrica con una barra metálica angular ó dispuesta con varias puntas; porque girando el platillo de la máquina en la oscuridad, la electricidad comunicada á esta barra, produce al salir por las puntas garzotas luminosas, que presentan una vista hermosísima. No quiero decir por esto que el tal fuego sea la electricidad, pues esta es una cuestion que examinaremos despues; pero como siempre acompañan á su perdida pronta, es á lo menos un signo seguro de esta pérdida. Era

interesante examinar si hallándose el aire en el mismo estado, la pérdida de las dos electricidades era igualmente rápida. Yo he hecho esta prueba, y he hallado una igualdad perfecta.

Conocida de este modo la ley de la pérdida gradual de la electricidad por el solo contacto del aire, Coulomb ha procedido por el mismo método á la determinacion de la pérdida causada por los sustentáculos que producen un aislamiento imperfecto.

La primera idea que se presenta es la de elegir los sustentáculos de modo que la pérdida que produzcan sea muy considerable con respecto á la que se verifica por el contacto del aire. Mas esta pérdida tan rápida tendria un grave inconveniente, porque cada vez que se toca al aparato, ya para dar á las bolas su electricidad inicial, ya para alterar la torsion por medio del micrómetro, la aguja no queda en una posicion estable sino despues de algunas oscilaciones. Es necesario, pues, que el aislamiento sea todavia bastante perfecto para que la energía de la electricidad no sufrá muy grandes alteraciones en este intervalo; y se pueden hacer consecutivamente varias observaciones de este género, sin comunicar nueva electricidad á las bolas. Con arreglo á estas observaciones, Coulomb ha colgado la bola fija de la balanza, no ya de un cilindrito de goma laca perfectamente aislante, sino de una seda sencilla y tal como sale del gusano de 15 pulgadas de longitud. La bola movible ó de la aguja se hallaba perfectamente aislada y era de igual volumen que la otra. Coulomb ha medido como anteriormente la fuerza repulsiva de estas dos bolas en diferentes épocas, y ha calculado la diminucion de electricidad que resultaba. De este modo ha hallado que al principio, cuando la intensidad de la fuerza repulsiva es muy grande, es la diminucion mucho mas rápida que por el aire solo, y va deteniéndose gradualmente al paso que disminuye aquella intensidad; de suerte que llega á un término en que la bola sostenida por la se-

da pierde exactamente lo mismo que si estuviese aislada de un modo perfecto, y desde este punto en adelante se encuentra la misma constancia respecto á todos los grados de intensidad mas débiles; lo cual nos manifiesta que al llegar á este límite, la seda empieza á aislar perfectamente.

En estas esperiencias la bola movible no pierde su electricidad sino por el contacto del aire, y por lo mismo se puede calcular segun la ley de diminucion que hemos establecido, el estado de su reaccion eléctrica con respecto á un instante cualquiera; y como la observacion de la fuerza repulsiva total en este mismo instante da á conocer el producto de las reacciones eléctricas de las dos bolas, se puede deducir la reaccion eléctrica de la bola fija en aquel momento. Este cálculo hace conocer la influencia del aislamiento imperfecto. Aplicándole á las observaciones que hemos citado, ha determinado Coulomb el grado de reaccion eléctrica en que cada uno de los sustentáculos que ha empleado empieza á aislar perfectamente, y ha hallado que la intensidad de esta reaccion era proporcional á la raiz cuadrada de su longitud; es decir, que hallándose el aire en el mismo estado, un sustentáculo de una longitud cuatro veces mayor aisla perfectamente una cantidad doble de electricidad. Pero es claro que esta proporcionalidad solo se verifica en los sustentáculos cilíndricos muy finos, cuya longitud es desigual; pero que son idénticos en naturaleza y en grueso. Cuando varía una de estas circunstancias, es necesario contar con esta alteracion en la misma fórmula. Calculando por ejemplo, segun la observacion, la intensidad de la reaccion eléctrica en que empieza el aislamiento perfecto por medio de hilos de goma laca y de seda de igual longitud y diámetro, ha hallado Coulomb que su valor es diez veces mayor respecto á la primera sustancia que á la segunda; y por cálculos análogos á este, se puede comparar la permeabilidad de todas las sustancias que transmiten imperfectamente la electricidad.

Para poder comparar asi una materia con otra, no es necesario que las dos bolas de la balanza se hayan observado á una misma distancia en ambas series de esperiencias, bastando que esta distancia haya permanecido constante en cada una de las series, y substituir cada vez su valor en la fórmula. Tambien es indiferente que se haya dado tal ó tal grado de electricidad á las bolas; lo que sí es necesario es que sean iguales entre sí, y se electricen simultáneamente, como tambien que sean las mismas en todas las esperiencias igualmente que el hilo de torsion que se usa. Sin estas circunstancias no seria la misma en ambas series la relacion de las torsiones con las fuerzas repulsivas, lo cual haria su comparacion mas dificil y menos inmediata. Tales son, pues, las precauciones que es necesario tomar.

CAPITULO IV.

Disposicion de la electricidad en equilibrio en los cuerpos conductores aislados.

Ahora que ya sabemos por medio del cálculo conducir la reaccion eléctrica de los cuerpos á un estado constante, á pesar de la pérdida continua que sufren por los sustentáculos y por el contacto del aire, podemos proponernos examinar el modo con que se distribuye la electricidad en las diferentes partes de un cuerpo, tanto en su interior como en su superficie.

Segun lo que la esperiencia nos ha hecho conocer en este punto, es muy verosímil que la electricidad se dirige enteramente á la superficie de los cuerpos conductores, sin que sus partículas interiores la retengan de ningun modo; porque de otra suerte no se podria concebir cómo la conformidad sola de la superficie de dos cuerpos que se tocan, puede producir una distribucion igual de electricidad en ambos, sea la que quiera la sustancia de que estan

compuestos, ni cómo esta igualdad puede verificarse cuando uno de los cuerpos es sólido y lleno de materia y el otro vacío, de modo que solo presente una simple superficie. Mas todo esto parece muy natural y muy sencillo si la electricidad en equilibrio se esparce solo por las superficies de los cuerpos sin penetrar en su interior.

Esta propiedad, que nos hace creer la analogía, es de tanta importancia que es precio tratar de comprobarla directamente.

La esperiencia que sigue puede desde luego hacerla conocer. Tómese un cuerpo conductor de forma esferoidal como S, fig. 9; fórmense dos casquetes muy delgados E E, de una sustancia igualmente conductriz, por ejemplo de papel dorado, y déseles una curbatura tal, que uniéndose se sobrepongan perfectamente al cuerpo S, y adaptënseles por la parte de afuera unos tubitos de goma laca E M, por cuyo medio se puedan manejar sin quitarles la electricidad. Hecho esto colóquese el cuerpo S sobre un aislador, ó cuélguese de una seda muy fina cubierta de goma laca, y comuníqueseles un grado cualquiera de electricidad. Despues, habiendo tocado ambos casquetes para asegurarse de que no se hallan electrizados, colóquense sobre el esferoide S, teniéndolos por los estremos de los tubos de goma laca; retírense inmediatamente del mismo modo, y preséntense á un péndulo eléctrico. Se hallará que han tomado enteramente la electricidad del esferoide, cuya reaccion eléctrica es absolutamente nula, aun ensayado en el electróscopo mas sensible.

Tambien se puede comprobar esta propiedad de otro modo, que parece mas general; porque el cuerpo con que se hace la esperiencia puede tener cualquiera forma, y no hay necesidad de quitarle nada de electricidad. Se hacen sobre la superficie de este cuerpo uno ó muchos agujeritos cilíndricos de cuatro ó cinco líneas de diámetro, y de la profundidad que se quiera; se forma en seguida un hilo de goma

laca de algunas pulgadas de longitud, á cuyo estremo se coloca un circulito de papel dorado, semejante al de la aguja del electróscopo, y cuyo diámetro sea el tercio ó el cuarto del de los agujeritos. Hecho esto se aisla el cuerpo S, se le electriza fuertemente por medio de algunas chispas sacadas del primer conductor de una máquina, y teniendo el cilindro de goma laca por su estremo libre, se introduce con cuidado el circulito de papel en las cavidades del cuerpo S, sin tocar absolutamente á los bordes de la abertura. Este círculo estraido de las cavidades no lleva ni un átomo de electricidad, y presentado á la aguja del electróscopo, cargada de la misma electricidad que el cuerpo S, no hace sobre ella la mas mínima impresion. Despues de haber reiterado inútilmente esta prueba, si se toca con el círculo un momento la superficie esterior del cuerpo S, ó el borde de una de las cavidades que se han hecho en él, inmediatamente el círculo repele con viveza la aguja del electróscopo. Toda la electricidad del cuerpo S reside, pues, en su superficie, sin que tenga ninguna interiormente.

Este resultado es general, cualquiera que sea la forma de los cuerpos; pero repitiendo la esperiencia se hallará algunas veces que el circulito de papel dorado, al salir de las cavidades del cuerpo, presenta señales, aunque muy débiles, de una electricidad de *naturaleza opuesta* á la del cuerpo S; la cual no desaparece, aunque se toque al circulito para descargarle. Esta permanencia prueba que la electricidad de que se trata no le es propia, sino comunicada por la goma laca al paso que se le quita; de suerte, que no resulta de aqui ninguna prueba de la existencia de la electricidad en lo interior del cuerpo S. Pero ¿cómo el cilindro de goma laca unido al círculo puede solo por la proximidad, sin tocar los bordes de las aberturas, tomar una electricidad *contraria* á la del cuerpo S? Este fenómeno le esplicaremos al tratar del desarrollo de la electrici-

dad á distancia; limitándonos aqui á decir, que este efecto, puramente accidental, es casi siempre insensible; cuando la goma laca es pura, el aire está seco, y no se tiene mucho tiempo el circulito dentro de la cavidad.

Podemos, pues, estar seguros, segun esto, de que el principio eléctrico, cualquiera que sea, no reside en el interior de los cuerpos conductores, sino enteramente en su superficie. Sabemos ademas por otras esperiencias que el aire le contiene en esta superficie, siendo el único obstáculo que le impide salir del cuerpo; asi que, comparando estas dos indicaciones, vemos que el principio eléctrico, cualquiera que sea su naturaleza, se dispone siempre en los cuerpos conductores en una capa muy delgada, cuya superficie esterior, contigua al aire y limitada por la presion de este fluido, es la misma que la del cuerpo electrizado, y la interior muy poco distante de la otra, puesto que la capa es muy delgada, debe determinarse por otras leyes, que nos será preciso deducir de la esperiencia.

Por ejemplo, cuando el cuerpo electrizado es una esfera, la sola razon de simetría exije que la superficie interior de esta capa sea tambien esférica y concéntrica á la superficie esterior, pues debe ser como ella, simétrica en todos sentidos al rededor del centro. Cuando en una esfera se acumulan sucesivamente cantidades de electricidad, cada vez mayores, es claro que, ó las nuevas cantidades se colocan esféricamente sobre las primeras aumentando el grueso de la capa eléctrica, ó bien permaneciendo constante este grueso, la densidad de la electricidad aumenta en cada punto. Para las esperiencias es indiferente adoptar una ú otra suposicion; porque siendo siempre muy pequeño el grueso de la capa, todas las moléculas eléctricas, acumuladas bajo cada elemento superficial, deben obrar por atraccion ó repulsion sobre los cuerpos esteriores, como si todas estuviesen reunidas en un solo punto, y por

consiguiente infinitamente condensadas; y por lo tanto, su accion será siempre proporcional á su número, de cualquier modo que se valúe. Pero considerando la cosa fisicamente, no parece natural la idea de un grueso esencialmente limitado, pues no existe en el interior de los cuerpos conductores ningun obstáculo que impida á la electricidad esparcirse en él. Si no se distribuye no puede ser sino por un resultado de las leyes de su equilibrio, y por lo mismo es muy verosímil que respecto á cada cantidad dada de electricidad sea el grueso de esta capa una consecuencia de estas leyes.

El método que acabamos de esplicar para esperimentar la electricidad de un cuerpo conductor, tocándole con un circulito de papel dorado, aislado al estremo de un hilo de goma laca, es aplicable en muchas circunstancias; y puede dar á conocer, no solo la existencia y naturaleza de esta electricidad, sino la cantidad absoluta que se halla acumulada en cada elemento superficial. Para esto, en vez de presentar el planito al electróscopo, como en la esperiencia anterior, se sustituye á la bola fija de la balanza, y se observa su accion sobre la bola ó círculo movible, que se ha cargado anteriormente de una electricidad de igual naturaleza. Pudiéndose considerar estos cuerpos como puntos, á causa de su pequeñez, se ve que la reaccion eléctrica del planito será proporcional á la cantidad de electricidad de que se halla cubierto; é introduciéndole siempre en la misma balanza, sin quitar al círculo ó bola movible nada de la primera carga que se le ha dado, las torsiones necesarias para conducirle á una misma distancia darán las relaciones de estas diversas cargas. Ahora bien, como un plano muy pequeño aplicado sobre un cuerpo se confunde con un elemento de su superficie, se debe creer que estas cargas serán tambien proporcionales á la del punto de la superficie á que ha tocado el planito. De suerte, que podrá asi conocerse cuánto varía en los diferentes

puntos de un cuerpo la cantidad de electricidad, ó lo que viene á ser lo mismo, el grueso de la capa eléctrica, en caso que la electricidad no se halle igualmente distribuida.

Para comprobar esta idea, tómese un cuerpo conductor de cualquiera figura, y colóquese sobre un aislador; désele un grado arbitrario de electricidad, y tóquesele con el planito de prueba en un punto a que se pueda reconocer exactamente; llévese este planito á la balanza, cargada de antemano de igual electricidad; y obsérvese la torsion que es necesaria para equilibrar la repulsion á una distancia fija D. Sea A esta torsion.

Retírese entonces el planito, y tóquese de nuevo al cuerpo condustor en otro punto a' distinto del primero, y que tambien se pueda reconocer; llévese en seguida á la balanza, y mídase la torsion necesaria para conducir la aguja á la distancia D, como en la primera esperiencia. Sea esta torsion nA, de suerte que n esprese su relacion con la primera.

Si pasados algunos minutos se repiten las mismas pruebas tocando siempre el planito á los puntos $a\,a'$, no se hallarán las mismas torsiones absolutas, porque el cuerpo aislado habrá perdido parte de su electricidad por el contacto del aire; pero la relacion de estas torsiones será siempre la misma; y si la primera es A′, la segunda será n A.′ Para que la comparacion sea enteramente exacta deberá pasar entre los dos contactos sucesivos con a y a' el mismo intervalo que en la primera esperiencia, á fin de que sea proporcionalmente la misma la pérdida por el aire.

El resultado de esta prueba se reproducirá tantas veces como se repita, verificándose la proporcionalidad de las torsiones mientras haya sobre la superficie del cuerpo una cantidad apreciable de electricidad. Si se han anotado las épocas en que se han hecho las observaciones sucesivas, se verá que la diminucion absoluta de las torsiones es exactamente la

que debe resultar por el contacto del aire, ó lo que es lo mismo, la repulsion mútua del planito y del círculo movible en un instante cualquiera, es exactamente la misma que si se hubiese dejado constantemente el planito en la balanza con la carga primitiva de electricidad que tomó en el punto *a* ó *a'* en el primer contacto. Por consiguiente la cantidad absoluta de electricidad que toma cada vez es proporcional á la suma actual y total de electricidad del cuerpo.

Esta proporcionalidad puede tambien demostrarse por medio de la siguiente esperiencia.

Dese al cuerpo aislado la forma de un cilindro ó de un paralelipípedo rectángulo, cuya longitud sea mucho mayor que el ancho; electrícese y hágase tocar el planito, primero en medio de su longitud y despues á uno de sus estremos, y se obtendrán en ambos casos reacciones muy diferentes. Hágase tocar el cuerpo electrizado con otro de igual forma y dimensiones, y tambien aislado, presentándole al primero simétricamente, es decir, de modo que los lados semejantes se toquen en toda su estension. La electricidad se repartirá seguramente de una manera igual entre ambos cuerpos. Si despues de haberlos separado se repite la prueba del planito, tocando en los mismos puntos que la primera vez, se hallará que la reaccion eléctrica se ha reducido en todos los puntos exactamente á la mitad de lo que era anteriormente.

Asi, pues, reasumiendo estas esperiencias, resulta que las cantidades absolutas de electricidad, tomadas sucesivamente por el *plano de prueba* en un mismo punto de la superficie de un cuerpo conductor, son constantemente proporcionales á la suma total de electricidad esparcida en la superficie del cuerpo en el momento del contacto; y que cualquiera que sea esta, las cantidades tomadas á un mismo tiempo en diferentes elementos conservan siempre entre sí relaciones constantes. De aqui debe-

mos inferir dos consecuencias : la primera es que en cada cuerpo conductor, la acumulacion de una cantidad doble ó triple de electricidad da á cada elemento de la superficie una cantidad doble ó triple; y la segunda que el planito de prueba, considerado como infinitamente pequeño con relacion á la superficie total del cuerpo conductor, toma siempre en cada punto de esta superficie una cantidad de electricidad proporcional á la del elemento que ha tocado.

Procediendo de este modo, cada contacto del plano disminuye un poco la cantidad absoluta de electricidad del cuerpo aislado; y por consiguiente, hablando en rigor, seria preciso contar con esta diminucion para que las observaciones sucesivas fuesen exactamente comparables; pero para evitar este cuidado se hace el plano tan pequeño, que la cantidad de electricidad que robe cada vez sea infinitamente pequeña y como nula relativamente á la de la superficie total del cuerpo. Si ademas de tomar esta precaucion se quisiese aun disminuir el error, no hay mas que volver á tocar el planito con la superficie del cuerpo sin descargarle. Es tambien necesario emplear para sostener los planitos hilos de goma laca muy pura, cuya fuerza aislante sea la mayor posible.

Como estas observaciones exijen siempre que se repitan muchas veces, es necesario, al comparar unas con otras, tener cuenta por medio del cálculo con la pérdida de electricidad que resulta del contacto del aire. Esto puede hacerse segun las leyes de esta pérdida que hemos hallado antes; ó bien se puede suplir esta correccion combinando las esperiencias, de modo que se rectifiquen por sí mismas. Para esto, si se trata de comparar las reacciones eléctricas de dos puntos *a*, *b*, se tocará primero *a* con el planito, y se observará la reaccion proporcional que resulta en este; en seguida se tocará *b*, y se observará tambien la reaccion correspon-

diente. Si entre una y otra observacion ha pasado un espacio, por ejemplo, de tres minutos, se repite de nuevo tres minutos despues el contacto con *a*, y se toma un medio proporcional aritmético entre este resultado y el primero que se obtuvo. De este modo se obtendrá un dato igual al que resultaria si se hiciesen exactamente á un mismo tiempo los contactos con *a* y *b*. Esta especie de correccion, hecha por observaciones correspondientes, es siempre el mejor que puede emplearse; y tanto, que corrije aun la pérdida ocasionada por los sustentáculos, con tal que sea muy pequeña, como sucede siempre que estan bien elejidos y preparados.

Para hacer una aplicacion del método de los contactos alternativos elejiremos la esperiencia siguiente, que he encontrado entre los manuscritos de Coulomb.

Se habia propuesto examinar cómo se dispone la electricidad en una lámina sutil y aislada. Para descubrirlo aisló una lámina de acero de once pulgadas de largo, una de ancho y media línea de grueso; y para poder tocarla en toda su anchura dió al plano de prueba una pulgada de largo y tres de ancho. Aplicó primeramente este plano al centro de la lámina en C, fig. 10, y despues á una pulgada del estremo, y obtuvo los resultados siguientes:

	Torsiones observadas.	Torsiones medidas en el centro.	Torsiones medidas á 1 pulgada del estremo.	Relacion de las torsiones medidas.
Tocada en el centro.	370°			
A 1 pulgada del estremo. . .	440	360	440	1,22
En el centro.	350	350	417,5	1,20
A 1 pulgada del estremo. . .	395	335	395	1,18
En el centro.	320			
			Relacion media. . . .	1,20

Es decir, que en espacios iguales, tomados en todo el ancho de la lámina, en el centro y á una pulgada de los estremos, las cantidades de electricidad son entre sí como 1 á 1, 2, y por consiguiente casi iguales.

Coulomb ha vuelto á empezar su esperiencia situando el planito enteramente al estremo; pero siempre colocado todo él sobre la superficie de la lámina, y ha obtenido los resultados siguientes:

	Torsiones observadas.	Torsiones medidas en el centro.	Torsiones medidas al estremo.	Relacion de las torsiones medidas.
Tocado al estremo.	400°			
En el centro.	195	195	395	2,02
En el estremo.	190	190	390	2,05
En el centro.	185	185	370	2,00
En el estremo.	350			
		Relacion media. . . .		2,02

Aqui la relacion entre las cantidades de electricidad es mucho mayor que anteriormente; de donde se infiere, que habiendo sido casi constante desde el centro hasta una pulgada de los estremos de la lámina, la electricidad aumenta con rapidez al acercarse á estos estremos.

Aun ha hecho otra prueba Coulomb, poniendo el planito, no ya sobre la superficie de la lámina, sino en la prolongacion de esta superficie en D, de modo que tocase el grueso de la lámina por su canto, y entonces ha sacado estos resultados.

	Torsiones observadas.	Torsiones medidas en el centro.	Torsiones medidas mas allá del estremo.	Relacion de las torsiones medidas.
Tocado en el centro.	305°	295	1175	3,98
Mas allá del estremo.	1175			
En el centro.	285	285	1156	4,05
Mas allá del estremo.	1137			
Relacion media. . . .				4,01

Asi que, el plano de prueba, colocado sobre la prolongacion de la lámina, adquiere una electricidad doble de la que adquiria en este mismo estremo no tocando sino á una superficie.

La esperiencia repetida con una lámina de 22 pulgadas de longitud, es decir, doble de la precedente y de iguales dimensiones en lo demas, ha dado las mismas relaciones exactamente entre el centro y los estremos.

De aqui ha inferido Coulomb: 1.° que en el contacto con las superficies de la lámina, el plano de prueba solo participa de la electricida de la cara á que se aplica: 2.° que pasando la lámina de cierta longitud suficiente para que la electricidad sea casi uniforme en una gran parte de su superficie un nuevo aumento de longitud no influye de un modo sensible sobre la relacion de las cantidades de electricidad acumuladas en sus estremos y en su centro, siendo siempre la primera doble de la segunda.

Para conocer las consecuencias de esta observacion, sea A B, fig. 11, una lámina, cuya longitud esceda el límite que acabamos de indicar. Supongamos que hemos observado el estado eléctrico de diferentes puntos de su superficie, y subamos de cada uno de estos puntos las ordenadas CE, PM, QN, A A′, B B′, proporcionales á las cantidades de electricidad que se hallan acumuladas en ellos. Estas or-

denadas serán sensiblemente iguales entre sí desde el centro hasta una pulgada de los estremos de la lámina, desde cuyo punto crecerán rápidamente hasta dichos estremos, formando la curva A′M ó B′N. Ahora bien, puesto que la relacion de A A′ á P M ó á C E es la misma en todas las láminas, cuya longitud es muy grande relativamente al ancho, y esta misma constancia se observa respecto á las coordinadas intermedias; se sigue que la curva A′M B′N, conserva la misma forma en todas estas láminas, y no hace mas que sobreponerse en sus dos estremos sobre la capa uniforme, cuyo grueso es C E; de suerte, que se puede preveer completamente el estado eléctrico de estas láminas, luego que se ha observado la intensidad eléctrica en su centro.

Este aumento rápido de la electricidad hácia los estremos de las láminas, no les es peculiar, pues parece verificarse igualmente en todos los cuerpos prismáticos ó cilíndricos muy alargados; y es tanto mas rápida cuanto mas delgados son estos cuerpos, como lo prueban otras muchas esperiencias de Coulomb que pueden verse en el tratado general.

La tendencia de la electricidad á colocarse en la superficie de los cuerpos conductores, y el modo con que se esparce sobre esta superficie, puede demostrarse por una esperiencia muy curiosa. A B, fig. 12, es un cilindro aislado movible al rededor de un eje horizontal, y que se puede hacer girar por medio del manubrio M, compuesto de muchas varillas de vidrio. Sobre el cilindro está arrollada una faja metálica R, cuyo estremo terminado en semicírculo está unido á un cordon de seda F. Se hace comunicar este aparato con un electróscopo compuesto de dos hilos de lino *ff*, de que cuelgan dos bolitas de médula de sabuco y se electriza. Al momento se separan los hilos *f*, *f*. Entonces se desarrolla poco á poco la faja metálica tirando del cordon aislador F, y manteniéndola en el aire; á medida que se estiende esta faja se ven acercarse los hilos

indicando la diminucion progresiva de su reaccion, y si la faja es bastante larga con respecto á la carga eléctrica que se ha dado al aparato, su separacion puede llegar á ser casi insensible. Mas si se arrolla de nuevo la faja metálica sobre el cilindro, dando vueltas al manubrio M, vuelven de nuevo á separarse, y su reaccion es la misma que era al principio de la esperiencia, escepto la pérdida ocasionada por el contacto del aire.

CAPITULO V.

De las electricidades combinadas, y de su separacion por las acciones á cierta distancia.

Hemos considerado hasta ahora cuerpos electrizados por frotamiento ó por comunicacion; ahora vamos á ver otros fenómenos en que se desenvuelve el estado eléctrico sin contacto y solo por la influencia de un cuerpo electrizado colocado á cierta distancia.

Se toma un conductor cilíndrico B, fig. 13, aislado horizontal y terminado en hemisferios por sus dos estremos; se unen á él de trecho en trecho hilos de lino, de los cuales penden bolitas de médula de sahuco, y despues de haber tocado este conductor para asegurarse de que no está cargado de electricidad, se le acerca á un cuerpo electrizado A; sosteniendole por medio de cuerpos aisladores, y colocándole siempre á bastante distancia de A, para que no pueda recibir de él directamente la electridad por esplosion. Entonces se notan los fenómenos siguientes.

1.° Los hilos colocados en los estremos del cilindro B divergen, y por consiguiente manifiestan que está electrizado.

2.° Se observa que esta divergencia va disminuyendo hácia el medio del cilindro, donde se halla un punto en que no se verifica ninguna repulsion.

3.° Este punto que no está electrizado varía de

posicion en el cilindro á proporcion que este se separa ó se acerca al cuerpo electrizado.

4.° Si se pasa á lo largo del cilindro una bola de sahuco no electrizada, colgada de una seda que la aisle, es atraida en todas partes, escepto en el punto intermedio de que acabamos de hablar.

5.° Si esta bola se halla electrizada, es atraida por uno de los estremos del cilindro y rechazada por el otro, lo cual manifiesta que dichos estremos estan cargados de diferentes electricidades.

6.° En efecto, si se tocan sucesivamente estos dos estremos con un cuerpecito conductor aislado, y se observa la electricidad que proviene de ellos, se ve que en el estremo mas inmediato al cuerpo electrizado es de una naturaleza opuesta á la de este, y por el contrario es de la misma naturaleza en el estremo mas distante.

7.° Las señales de electricidad cesan luego que retirando el cilinbro por medio de los cuerpos aisladores, se le coloca á una gran distancia del cuerpo electrizado A, ó si se quita á este cuerpo la electricidad por medio del contacto.

8.° Esceptuando este último caso, el cuerpo primitivamente electrizado nada pierde de la influencia que ejerce. Ninguna parte de su electricidad se comunica al cilindro, pues si se mide su electricidad por medio del plano de prueba antes de presentarle el cilindro, y despues de haberle retirado se halla que no ha sufrido mas pérdida que la que naturalmente resulta del contacto del aire.

9.° Esta constancia solo existe en ausencia del cilindro aislado, pues mientras este se halla en la inmediacion del cuerpo electrizado, siendo este conductor, es distinta la reaccion en su superficie, como se puede ver por medio del plano de prueba.

10.° Si se retira y acerca muchas veces el cilindro al cuerpo electrizado sin tocar á este, los fenómenos cesan y se reproducen cada vez sin ninguna alteracion.

Sola la enunciacion de estos resultados manifiesta sus consecuencias. 1.° Puesto que el cilindro no toma del cuerpo A ninguna electricidad, es preciso que posea en sí mismo los principios de ambas electricidades que se desenvuelven en él por el influjo de este cuerpo. 2.° Puesto que estas dos electricidades desaparecen luego que cesa la influencia de este cuerpo estraño, sin que hayan podido pasar á la tierra en razon del aislamiento del cilindro, es preciso que sus proporciones sean tales, que abandonadas á sí mismas, puedan neutralizarse mútuamente. 3.° En fin, es preciso que esta neutralizacion se verifique sin que se destruyan los principios, puesto que aparecen de nuevo cada vez que se somete el cilindro á la influencia del cuerpo electrizado.

De este modo nos vemos obligados á creer que los principios de ambas electricidades existen naturalmente en todos los cuerpos conductores en un estado de combinacion que los neutraliza, y esto es lo que llamaremos en adelante *estado natural de los cuerpos.* Vemos, pues, que el frotamiento que nos parecia un medio de producirlos sirve solo para destruir esta combinacion, haciendo sensible uno de los principios y absorviendo el otro. He aqui sin duda la razon por qué observamos que el cuerpo frotante y el frotado manifestaban electricidades contrarias. En fin, puesto que la influencia de un cuerpo electrizado presentado á cierta distancia, obliga á ambas electricidades á separarse y colocarse de tal modo que queden mas inmediatas las de distinta naturaleza y las de una misma mas separadas, debe admitirse el principio de que *las electricidades de diferente nombre se atraen, y se rechazan las del mismo*, segun leyes que acaso la esperiencia nos enseñará á determinar.

Asi, todos los fenómenos que hemos esplicado antes vienen á ser consecuencias sencillas, necesarias y evidentes de esta propiedad general. Solo uno de

ellos parece que exije alguna atencion para combinarse con esta propiedad, á saber, la variacion pasagera que sufre la reaccion eléctrica del cuerpo A, mientras se le presenta el cilindro. Pero puesto que la electricidad que se halla libre en la superficie de un cuerpo, obra á cierta distancia sobre las de los otros cuerpos, destruyendo á lo menos en parte, su combinacion, es evidente que estas, luego que se hallen libres, deben á su turno obrar sobre el cuerpo que las ha puesto en libertar y cambiar la reaccion eléctrica de los puntos de su superficie, ya obligando á la electricidad libre que se halla en ellos á distribuirse de otro modo, ya añadiendo á esta electricidad la que el cuerpo puede suministrar por la descomposicion de su electricidad natural, ya en fin obrando de ambos modos al mismo tiempo.

Estas observaciones nos conducen á otra consecuencia importante. En nuestras primeras investigaciones hemos observado que los cuerpos electrizados atraen ó parece que atraen todos los cuerpecillos ligeros que se les presenta, sin necesidad de que se desenvuelva en ellos la facultad eléctrica ni por frotamiento ni por comunicacion. Mas ahora debemos concebir que este desarrollo se verifica en ellos por sí mismo, por la influencia que el cuerpo electrizado ejerce sobre las electricidades combinadas de los cuerpecillos que se le presentan; de suerte que aun en este caso, la atraccion que se observa, sea real ó sea aparente no se verifica realmente sino entre cuerpos electrizados.

Aun hay mas. El desarrollo de las electricidades combinadas en esta circunstancia es indispensable para que se verifique la atraccion, la cual es tanto menos viva, cuanto mas dificil es la descomposicion; y si esta es imposible, aquella cesa enteramente. Para convencernos de esta verdad, tomemos dos hilos de seda cruda, muy finos y de igual longitud; suspendamos de ellos dos bolitas de igual tamaño; pero la una de goma laca pura, y la otra tambien

de goma laca, mas dorada en su superficie, ó cubierta con una hojuela de estaño muy delgada. Colocados ambos péndulos uno al lado de otro á una distància pequeña, acerquemos á ellos un tubo de vidrio ó lácre frotado y electrizado, y veremos que la bola cubierta de metal, en cuya superficie puede hacerse fácilmente la descomposicion de las electricidades, es atraido con mayor energía y viveza que la otra; la cual no empieza á serlo sino despues de cierto tiempo, cuando se ha verificado ya la descomposicion en su superficie, en cuyo caso su estado eléctrico subsiste, aun despues de haber separado el cuerpo electrizado. La primera bola, aunque dorada, contrae tambien de este modo una electricidad permanente; porque la resina que la compone se impregna de la que se ha desenrollado en su superficie. Una y otra se ven farorecidas en este punto por el contacto del aire, que bajo la influencia del cuerpo electrizado, tiende sobre todo á quitarles la electricidad rechazada por este cuerpo, teniendo menor accion sobre la otra. Asi se observa en general que los cuerpos aislados que han estado algun tiempo sujetos á la influencia de un cuerpo electrizado, llegan á tener un esceso de electricidad de naturaleza contraria á la de este, cuyos efectos se manifiestan luego que se les sustrae de aquella influencia.

Como los resultados que acabamos de obtener nos han de ofrecer un uso continuo en lo sucesivo, es preciso reducirlos á una especie de teorema que enunciaremos del modo siguiente.

Cuando un cuerpo conductor aislado B, que se halla en su estado natural, se presenta á otro cuerpo A, electrizado y aislado, la electricidad distribuida en la superficie de A obra por influencia sobre las dos electricidades combinadas de B, descompone una parte de ellas proporcional á la intensidad de su accion, y la resuelve en sus dos principios constituyentes. De estas dos electricidades puestas en libertad, re-

chaza la de igual naturaleza á la suya y atrae á la otra; la primera se coloca en la parte de la superficie de B que se halla mas distante de A, y la segunda sobre la mas inmediata. Estas dos electricidades obran á su vez sobre la electricidad libre de A, y aun sobre sus dos electricidades combinadas, una parte de las cuales se descompone por esta reaccion, y se separa si el cuerpo A es tambien conductor. Esta nueva separacion produce una nueva descomposicion de la electricidad combinada de B, y asi recíprocamente hasta tanto que las cantidades de cada principio puestas en libertad sobre ambos cuerpos se equilibran por el balance de todas las fuerzas atractivas y repulsivas que ejercen unas sobre otras en virtud de su naturaleza semejante ó distinta.

Mas adetante examinaremos qué condiciones determina este equilibrio. Por el momento supongámosle establecido, y para continuar observando la serie de fenómenos que resultan de él, volvamos á tomar el mismo aparato que nos ha servido al principio, y representa la fig. 14, y ademas para abreviar la enunciacion de los hechos, supongamos que la electricidad dada primitivamente á A es vitrea. Entonces, si el conductor B es cilíndrico, como suponemos para que sea mas visible la separacion de las electricidades combinadas, su parte R, mas inmediata al cuerpo A, se halla en el estado resinoso, y su parte mas distante V en el estado vitreo.

Dispuestas las cosas de este modo, se toca esta parte V con un tercer conductor C igualmente aislado y en el estado natural; se retira y se le halla cargado de electricidad vitrea. Al mismo tiempo los hilos de lino colocados en V sobre el conductor A, se acercan, aumentándose la divergencia de los colocados en R. Si despues de este contacto se retira B de la presencia de A, ó se toca á este cuerpo para descargarle de la electricidad, se halla á B cargado únicamente de electricidad resinosa.

Esta es una consecuencia muy sencilla de la ac-

cion á distancia. Antes del contacto, la electricidad vítrea B, acumulada en V, rechazaba la electricidad vítrea de A, y atraía la electricidad resinosa desenvuelta en R, debilitando por consiguiente la accion de A sobre R. Por el contacto del tercer conductor se quita una parte de esta electricidad de V, y entonces se hace mayor la accion de A sobre R, porque se halla menos contrabalanceada. En virtud de este aumento de energía, se verifica en el conductor B una nueva descomposicion de electricidad combinada, cuya parte vítrea se coloca de nuevo en V y la resinosa en R. La cantidad total acumulada en R es, pues, mas considerable que la otra, pues solo esta última ha sido debilitada por el contacto de C; y cuando se sustrae el cuerpo B de la influencia de A, la electricidad vítrea que se halla en V no basta para neutralizar la resinosa que se halla en R, y el conductor B contiene un esceso de electricidad resinosa. Esta misma desigualdad es tambien la causa de que la divergencia de los hilos en V sea mucho mas débil que en R, segun hemos observado.

¿Se quiere llevar al estremo esta diferencia? En lugar de tocar el conductor B con un cuerpo aislado, que nunca toma mas que una parte de la electricidad V, tóquese con un cuerpo no aislado, haciéndole comunicar un momento con la tierra. Entonces se escapará toda la electricidad acumulada en V; los hilos colgados de este punto se acercarán enteramente, y no darán la menor señal de electricidad, en tanto que los hilos colocados en R se separarán mas que antes, sin que se disminuya su divergencia, tocando de nuevo al estremo V. En fin, si se sustrae el conductor B de la influencia del cuerpo A, esta divergencia se hará mucho mayor.

Esto tambien es muy fácil de entender. Cuando se pone en comunicacion con el suelo la parte V, toda la electricidad vítrea acumulada en este estre-

mo se reparte con la masa inmensa de la tierra, y se hace insensible su reaccion eléctrica, ó si se quiere, descompone la electricidad combinada de la tierra; atrae la electricidad resinosa, con la cual se neutraliza, y rechaza la vítrea, que se distribuye en toda la superficie del globo terrestre. De cualquier modo que esto se suponga, no queda absolutamente electricidad vítrea libre en V. La electricidad vítrea de A, desembarazada de esta resistencia, ejerce una atraccion mayor sobre R; lo cual produce una nueva descomposicion de la electricidad combinada de B, cuya parte vítrea se disipa del mismo modo que la anterior, mientras la resinosa se acumula en R, y asi sucesivamente, hasta que se satisfaga completamente la atraccion que A ejerce sobre R. Pero estas descomposiciones, que en nuestro razonamiento hemos supuesto sucesivas para comprender mejor su mecanismo, suceden instantáneamente en los cuerpos metálicos, cuya conductibilidad puede mirarse como perfecta; y he aqui por qué un solo contacto basta para establecerla completamente. Segun todo lo que acabamos de decir, se concibe fácilmente por qué B, sustraido de la influencia de A, manifiesta un esceso de electricidad resinosa, y por qué este esceso es aun mayor que en el caso precedente.

Hasta aqui nos hemos limitado á hacer sensible por la esperiencia la accion de A sobre B; pero igualmente podemos hacer sensible la reaccion de B sobre A; ya tocando este en diversos puntos de su superficie con el plano de prueba, que seria el medio mas exacto, ya limitándose á suspender del estremo de A mas distante de B hilos de lino con bolitas de médula de sahuco. Se observa al principio la divergencia de estas bolas cuando el cuerpo A es- aislado y solo; despues, al paso que se acerca el conductor B, y se verifica en este una descomposicion de su electricidad combinada, se ven acercarse poco á poco los hilos de lino de A; porque la electricidad vítrea que reside en esta parte la abandona

para dirijirse hácia B. Si llega á pasar enteramente á este cuerpo se ven los hilos de lino colocarse verticalmente, como si el cuerpo A se hallase en el estado natural; y en fin, si llega á desenrollarse en este estremo electricidad resinosa por efecto de la accion siempre creciente de R, se ven separarse de nuevo los hilos, pero con una electricidad diferente.

Esta sucesion de divergencias, producidas por electricidades contrarias, y separadas por un estado natural, se observará con mayor facilidad aun sobre el conductor B, si en vez de presentarle á A en el estado natural, se le comunica al principio una electricidad resinosa débil; porque al principio, antes de acercarse á A, todos los hilos de lino colgados de él se separarán en virtud de esta electricidad. Mas al paso que B se acerque á A, y que la accion de este atraiga esta electricidad resinosa al estremo inmediato á A, se verán los hilos de lino colocados en el otro estremo acercarse gradualmente, tocarse, y en fin, separarse de nuevo en virtud de la electricidad vítrea que la accion de A hace salir de la combinacion en que se hallaba en el estado natural, y es rechazada á esta parte del conductor B.

Para fijar las ideas hemos supuesto que el conductor A estaba cargado de electricidad vítrea. Si se le cargase de electricidad resinosa, los fenómenos serian exactamente semejantes, con sola la diferencia de cambiar en todas partes las denominaciones de ambas electricidades.

Despues de haber reconocido de este modo en general las propiedades atractivas y repulsivas propias de las electricidades vítrea y resinosa; y despues de haber reconocido su estado natural de combinacion en los cuerpos, su separacion por la influencia de otro cuerpo á cierta distancia, y las consecuencias generales que resultan de estas nuevas propiedades, es necesario, siguiendo el método que

hemos adoptado en esta obra, tratar de sujetar todo esto al cálculo, de un modo tal, que se fijen exactamente los por menores de los hechos, y se pueda preveer respecto á cada uno de los cuerpos que ejercen mútuamente esta influencia, cuál es la naturaleza y cantidad de fluido eléctrico que existe en un punto dado de su superficie.

Pero como hemos reconocido que los efectos de estas influencias recíprocas, tales como los acabamos de observar, se ejercen sobre los mismos principios eléctricos, se ve que no podremos estudiarlos en su causa sin determinar antes la naturaleza y modo de accion de estos principios; ó lo que es lo mismo para nosotros, sin imaginar, con arreglo á los fenómenos observados, algun modo de accion calculable que represente exactamente los fenómenos, y que pueda comprobarse, sino inmediatamente en su existencia física, á lo menos indirectamente, pero de una manera segura en sus consecuencias.

Ahora bien, si se considera la estrema facilidad con que se esparcen en los cuerpos conductores las dos electricidades vítrea y resinosa, dirijiéndose á su superficie, donde son retenidas por la presion del aire, si se considera la perfecta movilidad con que se acercan ó alejan, se reunen ó separan estos dos principios, sin perder nada de sus facultades originales, se hallará que la idea mas verosímil que se puede formar de su naturaleza es la de mirarlos como fluidos de una perfecta fluidez, cuyas moléculas se hallan dotadas de facultades atractivas ó repulsivas, y que se disponen en los cuerpos en que pueden moverse libremente de tal modo, que se equilibran en virtud de las fuerzas interiores y esteriores que obran sobre ellos.

Es fácil conocer que cada uno de estos fluidos debe poseer en sí mismo una causa de repulsion que conspire á separar sus partículas unas de otras; porque si suponemos una cierta cantidad de electricidad vítrea ó resinosa, introducida en una esfera

metálica, donde pueda moverse libremente, sabemos que toda ella se colocará en la superficie, formando una capa de muy poco grueso. Si se aumenta el diámetro de la esfera, la capa eléctrica se separará mas y mas del centro, disminuyendo siempre su grueso; y por último, si se suprime del todo la presion del aire, la electricidad se disipa completamente. Estos efectos indican sin duda alguna una accion repulsiva entre las partículas eléctricas de igual naturaleza; y todos los fenómenos, en que por la influencia á distancia se separan una de otra las electricidades combinadas, confirman perfectamente este resultado; asi como demuestran la existencia de una atraccion recíproca entre las electricidades de distinta naturaleza.

Vemos tambien por los mismos fenómenos que estas atracciones y repulsiones se debilitan á medida que crece la distancia; pero ¿qué ley sigue esta diminucion? Entre todas las que se pueden imaginar hay una que representa y reproduce perfectamente todos los fenómenos, á saber, la razon inversa del cuadrado de la distancia. Adoptándola, pues, las constituciones de los dos principios eléctricos se comprenden en la definicion siguiente: *Cada uno de los principios eléctricos es un fluido, cuyas partículas, perfectamente movibles, se rechazan mútuamente, y atraen las del otro principio con fuerzas recíprocas al cuadrado de la distancia. Ademas, á igual distancia el poder atractivo es igual al poder repulsivo*; igualdad que es indispensable para que las dos electricidades combinadas en un cuerpo que se halla en el estado natural no ejerzan ninguna accion á distancia.

Esto mismo se puede probar por la esperiencia. Tómense dos discos de vidrio delgado AB, A′B′, fig. 15, cuyas superficies sean bien planas, y que tengan como un decímetro de diámetro; el vidrio de luna de espejo es muy á propósito para este caso. Fíjese en cada uno de ellos un mango CM de

vidrio ó lacre, ó cualquiera otra sustancia aisladora: despues, habiendo dispuesto un pendulito muy sensible formado de una bolita de sahuco del grueso de una lenteja, colgada de una seda como sale del gusano, frótense los dos discos uno contra otro, cojiéndolos por los mangos aisladores y sin separarlos, preséntense juntos al pendulito, se verá que no ejercen sobre él ninguna accion; pero sepárense y preséntese cada uno de por sí, y ambos le atraerán. Se han electrizado, pues, por medio del frotamiento, tomando el uno la electricidad vítrea y el otro la resinosa, como se puede verificar presentándolos sucesivamente á otro péndulo muy sensible, cargado de una electricidad conocida. Estas electricidades no se manifiestan cuando los discos estan en contacto; porque hallándose sobre las dos superficies que se tocan, la distancia de todos sus puntos al péndulo es absolutamente la misma, y asi son iguales las acciones opuestas que ejercen para separar las electricidades combinadas de la bolita, de suerte, que su resultante total es nula. Tambien se puede disponer la esperiencia de modo que esta compensacion sea progresiva. Para esto, habiendo separado los discos, se presenta al pendulito la superficie frotada de uno de ellos, y se le deja acercar hasta el contacto, en cuyo caso, luego que ha tomado la corta cantidad de electricidad que corresponde á su volúmen, es rechazada y se separa. Manténgasele en este estado de repulsion presentándole la otra cara del disco, comó representa la fig. 16; pues la electricidad obrará tambien sobre él atravesando el grueso del vidrio. Aproxímese poco á poco el segundo disco al primero, como para ponerlos de nuevo en contacto por las caras electrizadas; al paso que sea menor esta distancia se verá disminuir la repulsion y bajar el pendulito hácia la vertical; y en fin, cuando se toquen, el sistema de los dos discos no tendrá mas accion sobre la bolita que cualquiera cuerpo en el estado natural; pero si se separan, la bolita volve-

rá á subir nuevamente. Estas dos electricidades, neutralizadas por el contacto, nos representan el estado de las dos electricidades combinadas, con la única diferencia de que estas en los cuerpos conductores no estan unidas entre sí sino por la fuerza de su combinacion; y pueden separarse por la accion de una electricidad libre á cierta distancia, mientras en los discos cada una de ellas está contenida por la resistencia que opone á sus movimientos la naturaleza no conductriz del vidrio. Por esta razon saldria perfectamente la esperiencia que acabamos de describir usando de discos de goma laca ó lacre, ó de un disco de estas sustancias y otro metálico; pero no con dos discos metálicos, ó en general, compuestos de materia conductriz; pues entonces, no oponiéndose ninguna resistencia al movimiento de las electricidades que el frotamiento hace desprender, se reunirian de nuevo y volverian á combinarse al paso que las pusiese en libertad el frotamiento.

Habiendo asi definido claramente los carácteres y modo de accion de los dos fluidos, es necesario esplicar las consecuencias *matemáticas* de esta definicion para compararlas con los fenómenos, y ver si se hallan exactamente conformes con ellos. Es menester sobre todo buscar aquellas, que siendo susceptibles de una valuacion exacta y numérica, presentan mayor rigor en su comprobacion. Pero estas deducciones no pueden obtenerse sino por cálculos muy elevados, en que se emplean todos los recursos de la análisis; y aun asi no se ha conseguido hasta hace muy poco tiempo establecerlos de un modo general y exacto. Este descubrimiento se debe á Mr. Poisson, de cuyo trabajo sacaremos los resultados exactos que le ha hecho conocer el cálculo, tomándolos como deducciones rigorosas de nuestras primeras definiciones; y no nos restará mas que comprobar si estan de acuerdo con los hechos.

Empecemos considerando un solo cuerpo con-

ductor aislado, cargado de un esceso de electricidad vítrea ó resinosa, y sustraido á toda influencia estraña.

El cálculo manifiesta que todo el fluido introducido en este cuerpo se colocará en su superficie, formando en ella una capita muy delgada, lo cual se confirma con las observaciones mas minuciosas y exactas.

El cálculo determina tambien la superficie interior de esta capa y su grueso; la superficie esterior limitada por el aire es la misma que la del cuerpo. El aire es en este caso, respecto á la electricidad libre, como un vaso impermeable de una forma dada que la contiene en su capacidad interior, y resiste por su presion á la tendencia que tiene á dilatarse. La superficie interior difiere siempre muy poco de la esterior, pues la capa eléctrica es muy delgada. Pero para que el cuerpo permanezca en un estado eléctrico permanente, la forma de esta superficie debe ser tal, que la capa entera no ejerza atraccion ni repulsion ninguna sobre los puntos que se hallan comprendidos en su cavidad; porque si estas acciones no fuesen nulas, se ejercerian sobre las electricidades combinadas del cuerpo, descompondrian una parte, y por consiguiente se alteraria el estado eléctrico del cuerpo. La condicion analítica que establece esta propiedad determina la forma y grueso de la capa, que puede, y aun en general debe ser desigual en las diferentes partes de la superficie del cuerpo electrizado. Por ejemplo, si este cuerpo tiene la forma de una esfera, las dos superficies de la capa eléctrica serán esféricas, y tendrán su centro en el de la esfera; el grueso de la capa será, pues, constante en todas partes, é igual á la diferencia de los radios. En efecto, el cálculo demuestra que segun la ley del cuadrado de las distancias, una capa semejante no ejerce ninguna accion sobre los puntos interiores.

Si el cuerpo propuesto es un elipsoide, la superficie interior de la capa eléctrica será tambien un elipsoide concéntrico y semejante; porque se demuestra que una capa elíptica, cuyas superficies sean concéntricas y semejantes, no ejerce ninguna accion sobre un punto situado en su interior. El grueso de la capa en cada punto se halla determinado por esta construccion, de la que resulta que es mas gruesa en los estremos del eje mayor y mas delgada en los estremos del pequeño, y los gruesos que corresponden á los estremos de ambos ejes, son entre sí como las longitudes de estos mismos ejes.

En todos los casos, la superficie esterior de la capa fluida, está determinada por la misma superficie del cuerpo, y todo se reduce á hallar para la superficie interior una forma poco diferente de la primera que haga nula la accion total de la capa sobre todos los puntos comprendidos en su cavidad.

Estos diferentes resultados no son susceptibles de sujetarse inmediatamente á la esperiencia, pero estan unidos á otros en que puede hacerse esta comprobacion, y que descubrirémos en breve.

La capa eléctrica dispuesta como acabamos de decir, obra por atraccion y repulsion sobre las otras moléculas eléctricas colocadas fuera de su superficie esterior ó en esta misma superficie. Las atrae si son de diferente naturaleza que la suya, y las rechaza si son de la misma. Este último caso es el de las moléculas eléctricas que forman la superficie esterior de la capa; cada una de ellas es rechazada de dentro á fuera con una fuerza proporcional al grueso de la capa en este punto. Las moléculas situadas debajo de esta superficie en el grueso de la misma capa, sufren una repulsion semejante, pero menor; porque solo es proporcional al grueso que las separa de la capa interior, no ejerciendo sobre ellas ninguna accion las moléculas que las rodean esteriormente. Todas estas fuerzas repulsivas gradualmente decrecientes, son combatidas en su efecto por el aire esterior que se opone á la salida

de las partículas eléctricas, de donde debe resultar una presion total ejercida contra el aire y que conspira á levantarle. Esta presion es en razon compuesta de la fuerza repulsiva ejercida en la superficie esterior y del grueso de la capa; y como uno de estos elementos es siempre proporcional al otro, se puede decir que en cada punto es proporcional al cuadrado del grueso; y por consiguiente debe ser en general variable sobre la superficie de los cuerpos electrizados. Si esta presion es en todas partes menor que la resistencia que opone el aire, la electricidad se halla contenida en el vaso que este forma, y no puede escaparse; pero si en algunos puntos de su superficie la presion llega á ser mayor que la resistencia del aire; este vaso revienta, y el fluido eléctrico se escapa como por una abertura. Esto es lo que sucede en el vértice de los ángulos y en las aristas de los cuerpos angulares; porque se puede demostrar que en el cúspide de un cono, por ejemplo, la presion del fluido eléctrico llegaria á ser infinita si la electricidad pudiera acumularse en él. En la superficie de un elipsoide prolongado y de revolucion, la presion no seria infinita en ningun punto; pero será tanto mas considerable en los dos polos cuanto mayor sea el eje que los une con relacion al diámetro de su ecuador. Segun los teoremas que acabamos de citar, esta presion será á la que se verifica en el ecuador del mismo cuerpo como el cuadrado del eje de los polos al cuadrado del diámetro del ecuador; de manera, que si el elepsoide es muy prolongado, la presion eléctrica podrá ser muy débil en el ecuador, y en los polos muy superior á la resistencia del aire. Asi es que cuando se electriza una barra metálica de figura de un elipsoide prolongado, el fluido eléctrico se dirige principalmente hácia sus estremidades y se sale por estos dos puntos en virtud de su esceso de presion sobre la resistencia del aire. En general el aumento indefinido de la presion eléctrica en ciertos puntos de los

cuerpos electrizados da una esplicacion natural y precisa de la facultad que gozan las puntas de disipar con rapidez en el aire no conductor, el fluido eléctrico de que se hallan cargadas.

Si la naturaleza del cuerpo electrizado fuese tal que la electricidad no pudiera moverse en él libremente, el esceso de presion de que acabamos de hablar, se ejerceria contra las mismas partículas del cuerpo que rodeasen la capa eléctrica, ó en general contra las que se opusiesen á su disipacion, ya por su afinidad, ya por cualquiera otro modo de resistencia.

Habiendo determinado por la teoría el modo con que se dispone la electricidad en un solo cuerpo conductor aislado y sustraido á toda influencia estraña, pasemos al caso de que muchos cuerpos electrizados y conductores, influyen mútuamente unos sobre otros; y siendo preciso elegir cuerpos, cuya forma haga los fenómenos accesibles al cálculo, consideremos dos esferas de materia conductriz, ambas electrizadas y puestas en presencia una de otra á una distancia cualquiera.

La disposicion de la electricidad en esta circunstancia y en todas aquellas en que muchos cuerpos electrizados influyen recíprocamente entre sí, está sujeta á un principio general evidente por sí mismo, y que tiene la gran ventaja de conducir inmediatamente todas estas cuestiones á una condicion matemática. He aqui el resultado tomado del apreciable trabajo de Mr. Poisson.

"Si muchos cuerpos conductores electrizados se ponen en presencia unos de otros y llegan á tener un estado eléctrico permanente, es preciso que sea nula la resultante de las acciones de las capas eléctricas que los rodean sobre un punto cualquiera, tomado en lo interior de úno de estos cuerpos. Porque si esta resultante no fuese nula, la electricidad combinada que existe en el punto de que se trata, se descompondria, cambiándose el estado eléctri-

co, lo cual es contrario á la suposicion."

Este principio, traducido al lenguage del cálculo, da inmediatamente otras tantas ecuaciones, como cuerpos se consideran, é incógnitas presenta el problema; pero su resolucion es muchas veces superior á las fuerzas de su análisis. Sin embargo Mr. Poisson, que habia descubierto tan felizmente la llave general de esta teoría, ha llegado á vencer todas las dificultades analíticas respecto al caso de dos esferas puestas en contacto ó en presencia una de otra y cargadas primitivamente de cualesquiera cantidades de electricidad. Las fórmulas que ha llegado á deducir ofrecen un gran número de resultados que se pueden comprobar por la esperiencia, y que son otras tantas pruebas severas de la teoría. Los pormenores de esta comparacion pueden verse en el tratado general, pues aqui nos limitaremos á citar uno solo de estos fenómenos, cuyas particularidades son muy dignas de atencion. Este fenómeno se verifica cuando despues de haber puesto en contacto dos esferas de diámetro desigual y haberlas electrizado simultáneamente, se separan por grados una de otra á diferentes distancias, permaneciendo siempre aisladas. Su estado eléctrico sufre las variaciones mas singulares. En el momento del contacto, la electricidad estudiada en el plano de prueba, se encuentra ser de la misma naturaleza en ambas esferas como debia suponerse, y ademas es nula en el punto de contacto; mas separando las dos esferas de diámetros desiguales como hemos supuesto, cesa esta nulidad. La electricidad combinada de la esfera mas pequeña se descompone, y la parte que es de naturaleza opuesta á la de la esfera mayor, se dirije hácia el punto en que se ha verificado el contacto. Este efecto disminuye al paso que se separan las dos esferas, y llega á ser nulo á cierta distancia dependiente de la relacion que hay entre los diámetros de ambas; en tal caso, el punto de la esfera pequeña donde se ha verificado el contacto se encuentra en

su estado natural, y en fin á una distancia mayor, este punto se cubre de la misma electricidad que el resto de la esfera. La existencia de estas singulares alternativas, la distancia á que se verifican, su aparicion constante en la esfera mas pequeña, todo puede determinarse con el plano de prueba, y preveerse con la mayor exactitud por las fórmulas de Mr. Poisson.

No pudiendo entrar aqui en comprobaciones mas detalladas, las supondremos hechas, y sacaremos de la teoría la definicion exacta de muchos elementos de la accion eléctrica que se confunden con frecuencia.

La primera cosa que hay que considerar en todas las esperiencias eléctricas, es la naturaleza de la que reside en la superficie de los cuerpos que se sujetan á la esperiencia, y en cada uno de los puntos de esta superficie, la cual se determina tocándolos con el plano de prueba y presentando este á la aguja del electróscopo cargada ya de una electricidad conocida.

La segunda es la cantidad de esta electricidad que se halla acumulada en cada punto, ó lo que es lo mismo, el grueso de la capa eléctrica; la cual se mide tambien tocando con el plano de prueba y presentándole á la aguja de la balanza cargada anteriormente de una electricidad de igual naturaleza. La fuerza de torsion necesaria para equilibrar la reaccion eléctrica del plano es á distancias iguales proporcional á la cantidad de electricidad que este posee, ó lo que es lo mismo al grueso de la capa eléctrica en el punto que ha tocado.

La tercera cosa que se puede considerar teóricamente es la influencia que cada elemento de la capa eléctrica ejerce sobre una molécula de fluido situada en su superficie esterior ó fuera de su superficie. La atraccion ó repulsion considerada de este modo es directamente proporcional al grueso de la capa eléctrica en el elememto superficial que atrae ó repele, é inversamente proporcional al cuadrado de la distancia

que separa este elemento del punto atraido ó rechazado.

En fin, la última cosa que debe considerarse es la presion que ejerce la electricidad contra el aire esterior en cada punto de la superficie del cuerpo electrizado. La intensidad de esta presion es proporcional al cuadrado del grueso de la capa eléctrica.

No separándose de estos principios se evitará el riesgo de estraviarse en consideraciones vagas; y si á esto se une el recuerdo del desenrollo de la electricidad por influencia á cierta distancia, no se hallará ninguna dificultad en comprender casi todos los fenómenos eléctricos.

La mayor parte de estos, limitándose á sus circunstancias mas generales, pueden representarse suponiendo la existencia de un solo fluido eléctrico que se halla esparcido en una cantidad determinada en todos los cuerpos, y constituye su estado natural. Asi los han considerado Franklin, y despues de él Æpinus. El esceso de este fluido en los cuerpos produce lo que hemos llamado electricidad vitrea, y su defecto lo que hemos llamado electricidad resinosa; de donde resultan dos estados diferentes de los cuerpos que los partidarios de este sistema designan con los nombres de *positivo* y *negativo*. Admiten tambien que las moléculas del fluido eléctrico se rechazan mútuamente; pero ademas, como la esperiencia manifiesta que los cuerpos en el estado natural no ejercen entre sí ninguna accion eléctrica, se ven obligados á suponer que las moléculas de este fluido son atraidas por la materia propia de los cuerpos; suposicion que queda destruida por el hecho de distribuirse igualmente la electricidad por el contacto entre dos esferas de igual volúmen, pero de distinta naturaleza. En fin, una discusion profunda y calculada, prueba que esta suposicion no bastaria para el equilibrio, y que es preciso admitir tambien que las moléculas de los cuerpos ejercen entre sí una accion repulsiva sensible á gran-

des distancias, del mismo modo que las influencias eléctricas. Esta multiplicidad de hipotesis contrarias á las analogías mas verosímiles, ha hecho abandonar estas ideas; sin embargo de que han sido muy útiles por el uso ingenioso que sus autores han hecho de ellas para reunir en un solo cuerpo todos los fenómenos que hasta entonces estaban separados.

CAPITULO VI.

Teoría de los movimientos escitados en los cuerpos por las atracciones y repulsiones eléctricas.

Desde las primeras investigaciones que hemos hecho sobre los fenómenos eléctricos, hemos descubierto que dos cuerpos electrizados puestos en presencia uno de otro, parece que se atraen ó se rechazan. Despues hemos observado que la atraccion y repulsion se ejercen únicamente entre las partículas de los fluidos eléctricos, sin que la sustancia material de los cuerpos participe de ella por ninguna afinidad particular. Es, pues, necesario examinar cómo y por qué mecanismo pueden comunicarse á las partículas de los cuerpos los efectos de estas fuerzas, y producir en ellos los movimientos que observamos.

Para mayor sencillez limitémonos á considerar al principio dos esferas electrizadas A y B; la una A fija y la otra B movible; con lo cual podran presentarse tres casos que es menester examinar separadamente.

1.° A y B, no conductores.
2.° A no conductor, B conductor.
3.° A y B conductores.

En el primer caso las partículas eléctricas se hallan fijas sobre los cuerpos A y B por la fuerza desconocida que produce la no conductibilidad; y no pudiendo abandonar á estos cuerpos, les comunican los movimientos que produce en ellas su accion recíproca.

En tal caso, las fuerzas que pueden producir el movimiento son: 1.° la atraccion ó repulsion mútua del fluido de A sobre el fluido de B: 2.° la repulsion que el fluido de B ejerce sobre sí mismo; pero no pudiendo las repulsiones de las partes de un sistema producir ningun movimiento en su centro de gravedad, los efectos de esta accion propia se destruyen en cada esfera, y no puede resultar de ellas ningun movimiento de una hácia otra. Es, pues, sola la primera fuerza la que debemos considerar. Si la distribucion de la electricidad es uniforme en cada esfera, cada una atrae ó rechaza á la otra como si toda su masa eléctrica se hallase acumulada en su centro, y la fuerza total de atraccion ó repulsion es proporcional al producto de las cantidades totales de electricidad que poseen. Esta fuerza se comunica á la materia ponderable de las dos esferas A y B en virtud de la adhesion con que retiene las partículas eléctricas; y segun los dos factores de que se compone su espresion, se ve que llegaria á ser nula si una ú otra esfera no se hallase cargada desde luego de una electricidad estraña. Durante el movimiento, la electricidad no sufre otra variacion que la que proviene de la distancia; porque suponiendo formadas las dos esferas de sustancias rigorosamente no conductrices, su accion recíproca no produce en ellas ningun nuevo desenrollo de electricidad.

En el segundo caso, suponiendo la esfera B, de materia conductriz, sufre una descomposicion de sus electricidades combinadas por la influencia de A. Las electricidades opuestas que resultan de esta descomposicion se unen á la cantidad de electricidad estraña que se ha introducido en la esfera; y se disponen segun las leyes del equilibrio eléctrico, y entonces el movimiento de B hácia A, puede considerarse de dos maneras.

Supongamos que sin alterar el estado eléctrico de B, se estiende sobre su superficie una capa aislante, sólida, sin gravedad, y que permanezca in-

variablemente adherida á ella. No pudiendo salir la electricidad de B, se apoyará, por decirlo asi, en esta capa, y por su medio comunicará á las partículas del cuerpo las fuerzas que la impelen. Las que obrarán sobre el sistema, serán, pues; 1.º la atraccion ó repulsion mútua del fluido de A sobre el fluido de B; 2.º la repulsion propia del fluido de B sobre sí mismo, la cual no puede producir ningun movimiento en el centro de gravedad; 3.º la presion del fluido de B sobre la capa aislante que se halla exactamente contrabalanceada por la reaccion de esta cubierta, y por tanto no debe producir movimiento alguno. Luego tambien aqui es únicamente la primera fuerza la que tenemos que considerar.

Cuando la distancia D de las dos esferas es muy grande en comparacion de sus radios, las electricidades descompuestas de B, segun el cálculo y la esperiencia, se hallan distribuidas igualmente poco mas ó menos en los dos hemisferios situados á la parte de A y á la opuesta; entonces son casi iguales las acciones que sufren de parte de A, y se destruyen mútuamente. Toda la fuerza efectiva proviene de las cantidades de electricidad estraña que se han introducido en ambas esferas, y su intensidad es proporcional al producto de estas cantidades. Mientras las esferas se hallan muy separadas una de otra, este producto y la fuerza atractiva ó repulsiva solo varía en virtud de la diferencia de distancia; pero esto no es mas que una aproximacion, porque en rigor el estado eléctrico de la esfera conductriz B, varía al paso que se acerca á A por la descomposicion que esta produce en su electricidad natural, y por consiguiente la accion recíproca de las dos esferas debe variar tambien de un modo muy complicado.

La suposicion de una cubierta aisladora y sin pesantez, solo sirve aqui para unir el fluido eléctrico con las partículas materiales del cuerpo B, y puede considerarse como tal la capita de aire que rodea

siempre los cuerpos y que se adhiere á su superficie; pero se puede obtener el mismo resultado sin valerse de esta suposicion. Entonces es menester considerar las presiones producidas sobre el aire por las electricidades que existen en B en el estado de libertad. En efecto, estas electricidades, tanto introducidas como descompuestas, se dirigen hácia la superficie de B, donde el aire las detiene por su presion, impidiéndoles salir. Se disponen, pues, bajo esta superficie segun exige su accion sobre sí mismas y la influencia del cuerpo, apoyándose contra el aire que les impide salir. Pero recíprocamente comprimen ellas este mismo aire de dentro á fuera, procurando levantarle con una fuerza proporcional al cuadrado del grueso de la capa eléctrica en cada punto. Descompónganse todas estas presiones segun tres ejes rectangulares de las coordenadas x y z, una de las cuales z se dirija hácia el centro de la esfera A, y se hallará que las presiones en el sentido de x y de y, son nulas; de modo que no queda mas que una resultante dirigida hácia el centro de la esfera A. Cuando las dos se hallan muy distantes una de otra con respecto al tamaño de sus radios, las electricidades descompuestas de B comprimen el aire esterior en sentido contrario con una intensidad igual poco mas ó menos, y sus efectos se destruyen casi completamente. No queda, pues, mas que el efecto de las cantidades estrañas introducidas en las dos esferas, de donde resulta un esceso de presion en la direccion de la línea de los centros de las esferas y proporcional al producto de estas cantidades, es decir, exactamente el mismo que nos dió el otro método. Por otra parte es evidente que esta espresion se halla sujeta á las mismas modificaciones, pues las presiones producidas por la capa eléctrica contra el aire esterior, deben variar segun la cantidad de electricidad natural que se descomponga en B por la influencia de A á medida que se acercan las dos esferas.

El tercer caso en que A y B son conductores, se resuelve exactamente por los mismos principios, ya imaginando las dos superficies electrizadas cubiertas de una capa aislante, y calculando las acciones recíprocas de los dos fluidos que se comunican por medio de esta cubierta á las partículas materiales, ya considerando las presiones producidas contra el aire esterior por las dos capas eléctricas, y calculando el esceso de estas presiones segun la línea que une los dos centros. Solamente que en este caso la fuerza atractiva ó repulsiva de las dos esferas variará á medida que se acerquen una á otra, no solo por la diferencia que resulte en la intensidad de la accion eléctrica, sino tambien por la descomposicion progresiva de las electricidades naturales que se verifique en los cuerpos A y B.

Los resultados que acabamos de obtener se verifican igualmente si las dos esferas A y B pudieran moverse libremente una hácia otra, pues sin alterar su accion recíproca se puede dar á una y otra el movimiento de una de ellas en sentido contrario, lo cual reduciria una al estado de reposo y quedaria en el caso que hemos considerado. Ultimamente, si hemos elegido cuerpos de forma esférica, ha sido únicamente para poder efectuar los cálculos que dan en cada caso, los valores de las atracciones, pues los mismos raciocinios pueden aplicarse á todos los casos mas complicados.

Consideremos por ejemplo, los fenómenos que presenta un péndulo eléctrico separàdo de la vertical por la accion de un tubo electrizado. Para fijar las ideas supongamos este péndulo formado de una bolita de medula de sabuco colgada de una seda CS, fig. 17, y cargada de electricidad vitrea. Mientras la bola se halle sustraida á toda influencia estraña, la electricidad se dispondrá en su superficie en una capa esférica muy delgada y de un grueso igual por todas partes; por consiguiente, la presion que ejerza sobre el aire esterior, será tambien por todas par-

tes igual, pues á cada punto es proporcional al cuadrado del grueso de la capa eléctrica. La bolita, pues, se hallará menos comprimida por el aire esterior que si no hubiese en su superficie electricidad libre; pero lo será igualmente por todas partes, y por consiguiente no se moverá en ninguna direccion.

Supongamos ahora que se acerca á cierta distancia de su superficie una barra de goma laca ó de lacre, electrizada resinosamente; al momento se descompondrá por su influencia una parte de las electricidades naturales de la bolita. La parte resinosa huirá del tubo, y la parte vitrea se acercará á él, siendo comun este movimiento último á la electricidad vitrea de que se habia cargado antes la bolita. La presion contra el aire, siempre proporcional al cuadrado del grueso de la capa eléctrica, será mayor á la parte del tubo; y recíprocamente la presion atmosférica que antes era igual sobre toda la superficie, se hará mayor sobre el lado opuesto al tubo. Este esceso de presion empujará, pues, la bola hácia el tubo resinoso; de suerte, que si se la quiere detener por medio de otra seda C S′ dispuesta en direccion contraria á la tendencia que la bola sufre, esta seda sostendrá todo el esfuerzo producido por la diferencia de presion.

Supongamos ahora que se corta este hilo; la bola cederá á la fuerza segunda que la arrastra, y la seda C S que la sostiene se separará de la vertical. Pero esta separacion tendrá un límite, porque el peso de la bola que en su posicion inicial estaba sostenido por el punto de suspension S, solo lo está en parte en la posicion oblicua S C′, fig. 18. En efecto, si representamos la fuerza de este peso por la línea vertical C′ P, se podrá descomponer en otras dos fuerzas, una C′ Q dirigida segun la propagacion de la seda, y destruida por su resistencia, y la otra C′ R perpendicular á la misma seda que procurará conducir la bola al punto mas bajo. Ahora bien, esta segunda fuerza es evidente que aumentará al mismo paso que el án-

gulo C S C′, y por consiguiente será cada vez mayor su tendencia á hacer bajar la bola. Por consiguiente, en cada posicion del tubo, la separacion del hilo será tal que el esceso de presion atmosférico que conspira á elevar la bola sea igual á la gravedad descompuesta que conspira á hacerla bajar.

Hemos supuesto el tubo y la bola cargados de electricidades de naturaleza opuesta; pero si ambos tuviesen una misma electricidad, se rechazarian en lugar de atraerse. La presion de la electricidad de la bola contra el aire esterior llegaria á ser preponderante sobre la parte mas separada del tubo, y la obligaria á separarse de este.

Esto es lo que se verifica en general, pero en algunos casos se observa un fenómeno que parece á primera vista que contradice todos estos razonamientos. Aproximando uno á otro dos cuerpos electrizados del mismo modo, se ve debilitarse la repulsion, y disminuyendo cada vez mas su distancia, llega á cambiarse en atraccion. Esto sucede ordinariamente cuando uno de los cuerpos es muy pequeño con relacion al otro y se halla débilmente electrizado; por ejemplo, en el caso en que la bolita de sahuco del péndulo eléctrico se halla cargado de una débil electricidad resinosa y se le acerca mas y mas un tubo grueso de lacre electrizado tambien resinosamente; pero lejos de ser este fenómeno contrario á nuestra teoría, es una consecuencia de ella. A medida que el tubo aproximándose á la bola rechaza la electricidad resinosa que se la ha dado primitivamente, descompone una parte mayor de sus electricidades combinadas; repele la resinosa que va á unirse con la anterior, y atrae la vitrea que se dirige hácia él. Si en la superficie de la bola existiesen solo estas dos electricidades descompuestas, no hay duda alguna que la bola seria atraida por el tubo, y con tanta mayor energía cuanto mas se acercase y mas frecuentemente electrizado estuviese, sin que se pudiesen fijar límites á esta atraccion. Pero

no sucede lo mismo con la repulsion nacida de la cantidad fija de electricidad resinosa comunicada á la bola primitivamente, pues está no puede crecer sino en virtud de la diminucion de la distancia. Si, pues, á una distancia cualquiera su energía es menor que la atraccion que proviene del desenrollo progresivo de las estremidades combinadas, esta última fuerza vencerá, y la bola se acercará al tubo. Se ve asi que la posibilidad del fenómeno depende de las proporciones entre las cantidades de electricidad que existen primitivamente en el tubo y en la bola; y aun cuando no se pueda señalar esta proporcion, se ve que la inversion se producirá tanto mas fácilmente y á una distancia tanto mayor cuanta mas electricidad tenga el tubo y menos la bola; de modo que si la distancia es fija, la repulsion ó atraccion dependerá únicamente de la relacion que haya entre las cantidades de electricidad.

La esperiencia que sigue, representada en la figura 19, hace sensible este resultado. Se toma un cilindro metálico aislado que se pone en comunicacion con el primer conductor de una máquina eléctrica; al lado de este cilindro se cuelga de una seda una bolita de médula de sahuco que no puede separarse del cilindro sino hasta cierta distancia, porque se lo impide otra seda unida al mismo cilindro. Se electriza este débilmente; atrae la bola hasta que llega á tocarle y en seguida las rechaza; se continua electrizando el cilindro y la bola es atraida de nuevo, continuando asi, siendo alternativamente atraida y rechazada conforme á nuestra teoría.

Para presentar otro ejemplo de estas consideraciones, apliquémoslas á los movimientos del circulito de papel dorado colocado en la aguja del electróscopo ó balanza. Supongamos que habiendo cargado este circulito de una electricidad conocida, se le presenta á alguna distancia y casi perfectamente á su superficie otro circulito electrizado y fijo, que supondremos ser de una materia no conductriz á

fin de que no varíe la electricidad distribuida sobre su superficie.

Cuando el circulito está solo en la balanza, la electricidad se distribuye sobre ambas caras del mismo modo y en la misma proporcion á causa de su simetría; por consiguiente, las presiones laterales contra el aire esterior son iguales y no resulta de ellas ningun movimiento. Pero luego que esta electricidad se halla sujeta á la influencia del círculo fijo, es atraida ó repelida, y la presion que ejerce contra el aire sobre ambas caras, llega á ser desigual. Si es atraida comprime mas el aire por la parte que mira al círculo fijo, y si es rechazada le comprime mas por el lado opuesto. Asi que en el primer caso el esceso de la presion atmosférica impelerá el círculo movible hácia el círculo fijo, y en el segundo le separará de él.

Hasta aqui hemos considerado superficies de tal forma que la electricidad abandonada á sí misma, se distribuya en ella de una manera simétrica, y produzca presiones iguales en los puntos opuestos. En este caso el cuerpo electrizado debe permanecer inmóvil necesariamente á no estar sometido á un influjo esterior. Pero aunque esta compensacion sea mas difícil de conocer en los cuerpos, cuya forma es mas complicada, no es menos cierto que existe, pues se demuestra en mecánica que las acciones recíprocas de las partes de un sistema libre no pueden imprimir á este ningun movimiento de traslacion ni de rotacion sobre su centro de gravedad.

Mas no sucederia lo mismo en el caso en que el fluido eléctrico pudiera escaparse por algun punto del cuerpo. Se hace por ejemplo con un hilo grueso de laton ó hierro una aguja A A, fig. 20, cuyos dos estremos esten doblados en direcciones opuestas perpendicularmente á su longitud, y formando una punta aguda. En su centro se hace un agujerito en que se coloca una piececita cónica que descanse en un estilete C M, á cuyo rededor puede girar horizontalmente la aguja. El pie del estilete P se atorni-

lla en el estremo del conductor de una máquina eléctrica. Mientras no se escita ninguna electricidad, la aguja permanece inmóvil en la posicion que se le ha dado; pero si se pone en accion la máquina eléctrica, la aguja empieza á girar al momento, y gira cada vez mas rápidamente como si empujase al aire por las puntas.

Para concebir claramente este fenómeno figurémonos que despues de haber electrizado la aguja, se cubre con una capita aisladora y sin pesantez que la rodee por todas partes, y que se cuelga libremente en el vacío de una seda que la permita girar en todas direcciones al rededor de su centro. En este caso, las presiones producidas en la superficie de la capa eléctrica se ejercerán contra la cubierta aisladora; pero segun el teorema de mecánica que acabamos de citar, no podrán hacer tomar al sistema ningun movimiento de rotacion sobre sí mismo; de suerte que todas las presiones descompuestas en un sentido cualquiera, se destruirán entre sí sobre las caras opuestas. Supongamos ahora que en cierto parage de la aguja se quita la cubierta aisladora de modo que la electricidad pueda salir por esta abertura, entonces, siendo nula la presion en este parage, la del opuesto obrará sola, por consiguiente hará girar la aguja en la direccion en que ella obra.

Este resultado apenas podria observarse en el vacío absoluto, porque la electricidad de la aguja se disiparia en él instantáneamente luego que se rompiese la capa aisladora; pero puede producirse en el aire libre, afilando las puntas de la aguja lo bastante para que la electricidad se acumule en ellas en un grado tal que sobrepuje á la presion atmosférica. Entonces el aire mismo sirve de cubierta aisladora, y la abertura se hace por el esfuerzo de la misma electricidad, en vez de que en nuestra primera hipótesis le suponiamos hecho artificialmente. El fenómeno es exactamente el mismo que si la aguja, en vez de estar electrizada, fuese un vaso vacío

lleno de agua ó mercurio, y sus estremos doblados fuesen dos canalitos, cuyos orificios se hubiesen abierto por la presion del fluido; pues en este caso, siendo nula la presion en estos orificios, la que se ejerciese sobre el elemento opuesto de la superficie interior impelería la aguja en direccion contraria, y la haria girar al rededor de su centro. Hemos visto la posibilidad de semejantes movimientos en el libro 1.º, capítulo 6.º

En este caso el producto de las masas por las velocidades de todas las moléculas líquidas que salen, será constantemente igual á la suma de los productos de las masas por las velocidades de los demas puntos de la aguja y del líquido que gira con ella en direccion opuesta. La misma igualdad deberá verificarse tambien en el movimiento de la aguja electrizada; pero como la masa de las moléculas eléctricas que se escapan es absolutamente inapreciable, pues los cuerpos mas cargados de electricidad no adquieren ningun aumento de peso en las balanzas mas sensibles, es preciso, para que haya compensacion, que la velocidad de las partículas eléctricas sea infinitamente considerable; y acaso no hay ningun ejemplo á propósito para dar una idea exacta de su rapidez.

Antes que se conociesen las verdaderas leyes del equilibrio de la electricidad se ignoraba cómo las atracciones y repulsiones, que solo se verifican entre las partículas eléctricas, podian comunicarse á las partículas materiales de los cuerpos; y se denotaba este efecto por la palabra vaga *tension*, que representaba poco mas ó menos la electricidad como un resorte colocado entre los cuerpos electrizados, y dispuesto á acercarlos ó separarlos. Los por menores en que acabamos de entrar manifiestan cómo se verifica esta transmision de la fuerza por medio de la presion que ejerce la electricidad contra la atmósfera que la rodea, ó en general contra los obstáculos que se oponen á su disipacion.

CAPITULO VII.

De la mejor disposicion que puede darse á las máquinas eléctricas y á los conductores que hacen parte de ellas.

Hemos visto desde que tratamos de los fenómenos eléctricos, que para aumentarlos era preciso producir el frotamiento sobre grandes superficies, y hemos empleado un platillo ó un cilindro de vidrio, haciéndole girar entre frotadores fijos por medio de un manubrio; y hemos colocado cerca de su superficie un cuerpo metálico aislado que se carga de electricidad á medida que esta se desenvuelve para comunicarla á otros conductores igualmente aislados que la conducen á donde exijen las esperiencias. Pero ahora, que sabemos que los cuerpos electrizados de este modo obran siempre unos sobre otros, debemos investigar cuál es la mejor disposicion que puede darse al aparato, cuál la naturaleza de los frotadores para desenvolver mejor la electricidad, cuál la forma del primer conductor para que la atraiga rápidamente, cuál la de los conductores secundarios para que se acumule en ellos con abundancia, y por último, cuál la de los cuerpos aisladores, para que se conserve de un modo mas durable. He aqui otras tantas cuestiones importantes, cuya discusion puede verse en el tratado general; en este nos limitaremos á dar los resultados.

Tres cosas hay que considerar en esta investigacion; el platillo, el frotador y los conductores.

Consideremos primeramente el frotador. Cualquiera que sea su naturaleza, es necesario para hacer el frotamiento estenso y durable que se aplique exactamente sobre la superficie del platillo ó del cilindro de vidrio, y que la oprima en un gran número de puntos; y nada es mejor para este objeto que unas almoadillas de cuero flexible, llenas de

crin, y comprimidas por un resorte contra la superficie del vidrio. El cuero solo, frotando contra el vidrio, desenvuelve poca electricidad; pero se puede obtener incomparablemente mas, cubriendo su superficie con una amalgama de mercurio y zinc triturados juntos, en cuyo caso esta amalgama es en realidad el cuerpo frotante, y el vidrio el cuerpo frotado. Si se aislan las almoadillas durante el frotamiento, y se examina la naturaleza de la electricidad adquirida por el vidrio, se ve que es vítrea, y por consiguiente las almoadillas toman la electricidad contraria, es decir, la resinosa.

Para el uso ordinario de la máquina no solo deben aislarse las almoadillas, sino que al contrario, se les debe hacer comunicar con el suelo por medio de algun cuerpo metálico, pues asi se obtiene mucha mas electricidad. La razon de este fenómeno es muy fácil de conocer. Supongamos que en el estado de aislamiento la superficie del vidrio frotado adquiere la cantidad $+e$ de electricidad vítrea; entonces el frotador tendrá una cantidad igual $-e$ de electricidad resinosa, dando á esta el signo negativo para indicar que unida á la otra se neutralizan. Sin duda la naturaleza de las superficies es lo que determina esta proporcion entre las especies y cantidades de electricidad que se adhieren á ellas; pero cualquiera que sea la causa, es cierto que la electricidad resinosa $-e$, que reside sobre el frotador, tiene siempre una tendencia á combinarse con la electricidad vítrea $+e$ que hay sobre el vidrio; y esta atraccion debe disminuir necesariamente la cantidad de que podria cargarse el vidrio naturalmente. Hallándose las cosas en tal estado, supongamos que se comunique al sistema de los dos cuerpos una cantidad $+2e$ de electricidad vítrea; una parte $+e$ de esta cantidad se combinará con la electricidad resinosa $-e$ del frotador, y neutralizará su atraccion respecto á la electricidad vítrea del platillo. Por consiguiente el resto $+e$ podrá unirse á esta elec-

tricidad sin que nada lo impida; y entonces, quedando el frotador en su estado natural, el platillo tendrá + 2 e de electricidad vítrea, es decir, una carga doble de la que tenia al principio. He aquí justamente lo que produce la comunicacion del frotador con el suelo; depósito comun de toda la electricidad de la tierra. Proporciona á la electricidad resinosa, desenrollada sobre la superficie conductriz del frotador, el combinarse con la electricidad vítrea del suelo necesaria para saturarla, y comunica al vidrio todo el esceso de electricidad vítrea que puede hallarse sobre su superficie, mientras es frotado por la amalgama metálica que se halla en su estado natural.

El objeto del conductor, que se coloca muy inmediato al platillo ó al cilindro de vidrio, no es otro que el de recojer este esceso de electricidad á medida que se desenvuelve; pues si permaneciese adherida á la superficie del vidrio, esta no podria adquirir nada mas aunque pasase de nuevo por el frotador; en vez de que descargando su electricidad en el conductor vuelve á adquirir de nuevo el esceso 2 e, cuando se halla en contacto con él. Todas estas cantidades de electricidad vítrea, absorvidas sucesivamente por el primer conductor, pasan de él á los conductores secundarios, y se distribuyen en ellos, segun las leyes del equilibrio eléctrico. La acumulacion no cesa hasta tanto que la fuerza repulsiva total no permite la introduccion de una nueva porcion de la electricidad del platillo; entonces, este, no teniendo donde descargar su electricidad, no toma otra nueva del frotador, y el efecto no aumenta por mas vueltas que se den á la máquina, á lo menos no adquiere mas que la cantidad necesaria para reemplazar la pérdida causada por el contacto del aire con todas las superficies electrizadas del platillo y de los conductores.

Esta análisis exacta de los fenómenos nos indica muchas condiciones útiles para la perfeccion del aparato.

1.º Es necesario que las partes de la superficie del vidrio, que son frotadas sucesivamente, lleguen delante del primer conductor, habiendo perdido lo menos posible de la electricidad adquirida. Para esto se unen al frotador piezas de tafetan engomado, que se estienden sobre la superficie del vidrio en el sentido del movimiento de rotacion; luego que el vidrio se electriza, estos tafetanes se adhieren á su superficie, y la preservan del contacto del aire hasta la inmediacion del conductor.

2.º Es preciso que el primer conductor tenga tantas ramas como frotadores hay, para que ninguna parte del vidrio llegue á rozar con un frotador, sin haber sido antes descargada. Ordinariamente se emplean dos frotadores, dando dos ramas al conductor, como se ve en la fig. 21. Estas dos ramas terminan en puntas por la parte que mira al platillo, y por la opuesta terminan en esfera para hacer la pérdida mas lenta. Pero un conductor tan limitado se saturaria muy pronto y con una cantidad muy pequeña de electricidad; por lo cual se le hace comunicar con un sistema de conductores cilíndricos, aislados, largos y delgados, dispuestos paralelamente unos á otros, fig. 22. La esperiencia y la teoría estan de acuerdo en que cuando las longitudes y diámetros de estos cilindros estan bien proporcionados, esta disposicion es la mas á propósito para obtener grandes cargas con tensiones débiles. Esta disposicion tiene tambien la ventaja de que cuando se deja de mover el platillo ó cilindro de vidrio, se puede suprimir la comunicacion entre los conductores secundarios y el primer conductor; porque por este medio se evita la salida de la electricidad acumulada que se escaparia con rapidez por las puntas del primer conductor, cuando no siendo renovada la del platillo dejase de contenerla por su repulsion.

Es claro que estos cambios de comunicacion no se deben hacer por el contacto directo de un obser-

vador que comunique con el suelo, sino por el intermedio de varillas metálicas, aisladas por mangos de vidrio de donde se puedan agarrar. Cuando solo se trata de una comunicacion momentánea se da ordinariamente á estas varillas la forma de dos arcos circulares AC, A′C, fig. 23, que giran por medio de una charnela al rededor de un centro comun C, y cada una de las cuales tiene un mango aislador M, que ordinariamente es una varilla de vidrio cubierta de goma laca. Se toma una de estas varillas en cada mano, y abriendo ó cerrando el ángulo que forman, se puede aumentar ó disminuir segun se quiera la distancia AA′ entre los dos estremos del cerco, proporcionándola al intervalo que haya entre los dos conductores que se quieren hacer comunicar. Este instrumento se llama un *escitador*, porque en efecto, sirve para escitar chispas eléctricas de un conductor sobre otro. Tambien se emplean como medios de comunicacion cadenas y cordones metálicos que se dejan colgar de un conductor á otro, y que fácilmente se quitan con tubos de vidrio cuando se quiere cortar la comunicacion.

Despues de haber determinado las formas mas convenientes que pueden darse á todas las partes de una máquina eléctrica, solo nos resta decir una palabra acerca del aislamiento. Es claro que el del primer conductor y de los conductores secundarios debe ser el mas perfecto posible, á fin de que conserven por mucho tiempo la electricidad que se les comunica. Para esto es necesario que los cuerpos que los sostienen sean cuanto se pueda largos y delgados; los del primer conductor son ordinariamente columnitas delgadas de vidrio, y deben estár barnizadas con goma laca, porque esta sustancia aisla mucho mejor que el vidrio, y se carga menos de humedad. Los conductores secundarios se cuelgan del techo por medio de cordones de seda; y no seria inútil que la parte superior de estos cordones terminase en un cilindro de goma laca. Por lo demas no hay sino

aplicar aqui los principios que se han espuesto en el capítulo 3.º

Hemos supuesto hasta ahora que los frotadores comunicaban con el suelo y los conductores se hallaban aislados; en cuyo caso, la electricidad adquirida por los conductores es vítrea, pero tambien se les puede dar la electricidad resinosa. Para esto es necesario que las ramas del primer conductor sean movibles al rededor de su eje; y cuando se quiere cambiar la naturaleza de la electricidad se les vuelve haciéndolos tocar á los frotadores, fig. 24, y al mismo tiempo se suprime la comunicacion entre estos y el suelo. Entonces la electricidad vítrea que adquiere el platillo solo se comunica por los frotadores y el sistema de conductores con que comunican; de suerte, que perdiendo estos la parte vítrea de sus electricidades combinadas, se hallan cargados de un esceso de electricidad resinosa. En esta esperiencia es necesario quitar las puntas de las ramas del primer conductor, ó bien disponerlas de modo que se hallen en contacto con los frotadores: pues de otro modo producirian una salida á la electricidad de los conductores á medida que se desenrollase. Ademas, para facilitar en esta ocasion la comunicacion de los conductores con las almoadillas, se dispone en el fondo de estas una lámina metálica; pero los cuerpos que los sostienen, y que ordinariamente estan unidos al eje de la máquina, deben formarse con sustancias aisladoras, de modo que produzcan el aislamiento mas perfecto. En fin, para este caso se deben colocar delante del platillo de vidrio dos ramas metálicas terminadas en puntas, que comuniquen con el suelo para neutralizar toda la electricidad vítrea de que se halla cubierta su superficie al salir del contacto de los frotadores; pues si conservase esta electricidad no podria desenrollarse otra nueva cuando volviese á pasar entre las almoadillas.

CAPITULO VIII.

De los electróscopos.

Los *electróscopos* son, como indica su nombre, unos instrumentos destinados á descubrir las mas pequeñas cantidades de electricidad. Ya hemos hablado en el capítulo 2.° del de Coulomb, que es una verdadera balanza eléctrica, cuya suspension está formada por una seda, tal como sale del gusano. Todos los demas electróscopos se hallan igualmente fundados sobre el principio general de la repulsion que se verifica entre cuerpos cargados de una misma electricidad; y su mayor ó menor sensibilidad depende de la tenuidad y libertad de los cuerpos que se emplean para manifestar esta repulsion. Ordinariamente son dos pedacitos de paja, ó dos laminitas muy delgadas de oro batido L L′, fig. 25, colgadas paralelamente, y muy inmediatas, de hilitos de metal, cuyo estremo superior encorvado engancha en dos anillos *a a′*, hechos en una varilla comun igualmente metálica. Esta suspension les da una estrema movilidad; y por tanto, el menor grado de electricidad comunicado á la varilla T pasa á los hilos metálicos, y de estos á las pajas ó laminitas que la manifiestan inmediatamente separándose una de otra. Para evitar los movimientos del aire y los accidentes que pudieran romper las pajitas, se encierra todo ello en un frasco de vidrio cuadrado, fig. 26, cuyo cuello se barniza con goma laca para hacer mas perfecto el aislamiento. Solo sale del frasco el estremo de la varilla, colocándola de modo que la separacion de las pajas se haga paralelamente á una de sus caras, sobre la cual se traza una divisioncita circular para medir la amplitud de la separacion. Es evidente que el ser esta mayor ó menor indica un grado mayor ó menor de electricidad; pero como la accion de la gravedad para conducir las pajas

á lo vertical aumenta á medida que se separan de esta, es fácil conocer que la fuerza repulsiva que las sostiene no es simplemente proporcional á su separacion, sino que sigue otras leyes mas complicadas, y dependientes del peso de las pajas y de su figura; de suerte, que suponiendo iguales las partes de la division no representarán iguales grados de electricidad. Asi que, cuando se trate de medir estos grados, será preciso valerse de la balanza de Coulomb ó de su electróscopo, que es el único que reune la doble ventaja de indicar y medir á un mismo tiempo las menores fuerzas eléctricas.

A todos los géneros de electróscopos se puede comunicar la electricidad vítrea ó resinosa, tocando el boton esterior de su varilla con un conductor aislado, cargado de electricidad de la naturaleza que se quiera; mas esto mismo se puede conseguir por otro medio, cuyo conocimiento es muy útil; porque para usarle basta tener un tubo de vidrio ó lacre, ó cualquiera otro cuerpo que frotado con una tela de lana desenvuelva una electricidad conocida.

Supongamos, por ejemplo, que se hace uso de una barra ó cilindro de lacre, y que se obra sobre el electróscopo de Coulomb, representado en la fig. 7. Puesto en contacto el circulito de oropel con la bola fija, se frota el cilindro de lacre con una piel de gato, y se le presenta desde lejos al boton esterior de la varilla metálica B; con lo cual la aguja es rechazada inmediatamente. La repulsion subsiste todo el tiempo que el cilindro se halla en esta situacion; si se le acerca mas al boton la aguja es repelida mas lejos, y si se le separa, la aguja se acerca á la bola fija; en fin, si se le quita enteramente, la aguja vuelve á unirse á la bola fija, y permanece en contacto con ella en su punto de reposo.

Todos estos fenómenos son resultados de la influencia á distancia. La electricidad del lacre es resinosa: descompone las electricidades combinadas de la varilla y de la bola fija, atrae la vítrea al boton

esterior, y repele la resinosa á la bola fija y al círculo de oropel que está en contacto con ella; y este se separa, como que se halla electrizado del mismo modo. Si el cilindro se acerca mas se aumenta la descomposicion de las electricidades combinadas; la electricidad resinosa de la bola fija se hace mayor, y el oropel es repelido mas lejos. Lo contrario sucede si se separa el cilindro de lacre. Quitándole enteramente la varilla y la bola fija, quedan abandonadas á si mismas, y vuelven á componerse sus electricidades descompuestas; mas no pueden neutralizarse completamente, porque la electricidad resinosa se ha disminuido con toda la que ha tomado el oropel. Quedan, pues, la varilla y la bola fija, cargadas de un esceso de electricidad vítrea, correspondiente á la electricidad resinosa del oropel; por lo mismo debe haber una atraccion entre estos dos cuerpos, y la saturacion se completa en el momento del contacto.

Entendido bien esto, nada es mas fácil que comunicar al oropel y á la bola fija un estado permanente de electricidad vítrea.

Para esto se toca con el dedo el boton esterior de la varilla; se presenta á cierta distancia el cilindro de lacre, y se retira primero el dedo y despues el cilindro. Durante el contacto, la influencia del cilindro descompone una parte de las electricidades naturales del dedo y de la varilla; y esta influencia hace pasar al suelo la electricidad resinosa por el libre conducto que el dedo la presenta, y atrae la vítrea á la parte mas inmediata al tubo; de suerte, que si la varilla es bastante larga, el oropel, colocado al otro estremo, no llega á moverse. Retirado el dedo no puede ya escaparse esta electricidad vítrea; y cuando se quita el cilindro queda un esceso de ella sobre la superficie de la varilla y de la bola fija, y entonces es rechazado el oropel. Se ve, pues, que es esencial retirar el dedo antes que el cilindro; porque si se quitase este el primero, el esceso

de electricidad vítrea pasaria á la tierra, ó lo que es lo mismo, se neutralizaria á costa de esta, volviendo todo al estado natural.

Si se quiere asegurarse de que es realmente vítrea la electricidad escedente, no hay mas que observar el movimiento del oropel. Como segun las precauciones que hemos tomado solo ha sido rechazado en el momento de retirar el cilindro de lacre, es claro que tiene la misma electricidad que la bola fija. Acérquese de nuevo el lacre al boton esterior, y mas próximamente que en la primera esperiencia, hará venir á él la electricidad vítrea; y produciendo ademas una descomposicion de las electricidades naturales hará pasar la resinosa á la bola fija; al momento se dirijirá hácia esta el oropel, y llegará hasta el contacto si no se quita el lacre con prontitud. Esta aproximacion, bajo el influjo del lacre, es la señal para reconocer todos los casos en que el oropel y la bola fija se hallan cargados de una electricidad vítrea. Procediendo del mismo modo con un tubo de vidrio, frotado con una piel de gato ó con un paño de lana, se comunicará al oropel y á la bola fija la electricidad resinosa.

El mismo efecto puede tambien producirse con el lacre. Tómese un tubito de vidrio, y únase á su estremo con cera blanda un hilo metálico de dos ó tres decímetros de longitud. Tóquese el boton esterior del electróscopo con este hilo aislado, de manera que venga á ser, por decirlo asi, la prolongacion de la varilla, fig. 27. Preséntese entonces á alguna distancia la barra de lacre; retírese el hilo auxiliar y en seguida el lacre; la varilla y la bola fija quedarán cargadas de un esceso de electricidad resinosa, pues por la disposicion de la esperiencia la electricidad vítrea que se ha descompuesto en el sistema ha sido atraida casi enteramente al hilo auxiliar que se hallaba mas inmediato al lacre. Por consiguiente este hilo posee al tiempo de retirarle un esceso de electricidad vítrea; y por compensacion,

la varilla y la bola fija del electróscopo, que comunicaban con él, poseen un esceso de electricidad resinosa.

Esto puede comprobarse fácilmente por los movimientos del oropel. Aqui no vuelve por sí mismo hácia la bola fija al retirar el lacre como en la esperiencia anterior, sino que al contrario, permanece desviado, á pesar de la fuerza de torsion que procura hacerle volver, y se separará aun mas presentando de lejos la barra de lacre al boton esterior del electróscopo, porque la influencia del lacre aumenta la cantidad de electricidad resinosa acumulada en la bola fija. Esta separacion, bajo el influjo del lacre, es la señal para reconocer todos los casos en que el oropel y la bola fija se hallan cargados de una electricidad resinosa. Procediendo del mismo modo con un tubo de vidrio frotado con una tela de lana se comunicaria al electróscopo la electricidad vítrea.

Es fácil conocer por qué conviene dar dos ó tres decímetros de longitud al hilo auxiliar, á saber, para facilitar en esta longitud la separacion de las electricidades combinadas y estraer una de ellas con mas facilidad; y por la misma razon es útil dar una longitud igual, con corta diferencia, á la varilla del electróscopo.

Los medios que acabamos de esplicar para comunicar la electricidad que se quiera son aplicables á toda especie de electróscopos. Todo cuanto hemos dicho respecto al oropel y á la bola fija puede decirse de las pajas ó laminitas que separa la fuerza repulsiva; se desenvuelve en ellas igualmente por influencia una ú otra electricidad; y si se hallan ya cargadas se reconoce por las mismas señales la naturaleza de la electricidad que produce su divergencia. Pero esta prueba exije una precaucion mas que en el electróscopo de Coulomb, que es la de no acercar el cuerpo electrizado sino muy lentamente presentándole muy de lejos, como si se quisiese adi-

vinar la especie de electricidad. Porque si las pajas ó laminitas divergen, por ejemplo, en virtud de una electricidad vítrea, y se acerca á la varilla del electróscopo una barra de lacre, ademas de la accion que esta ejerce, para atraer á sí el esceso de electricidad vítrea esparcida sobre la varilla y las pajas, se verificará tambien una descomposicion de electricidades combinadas; y la del mismo nombre que la del lacre, es decir, la resinosa, será arrojada á las pajas. Si llega esta á ser mas que suficiente para saturar la poca electricidad vítrea que les queda se separán de nuevo, pero resinosamente; y esta alternativa de las dos repulsiones puede ser tan rápida algunas veces, que no se note el paso de una á otra; en cuyo caso se creería que la divergencia primitiva nacia de una electricidad resinosa, lo cual seria un error. Esto no sucederá acercando lentamente la barra de lacre, porque esta lentitud dará tiempo para observar la diminucion de la repulsion primitiva.

De todos los electróscopos muy sensibles el mas fácil de construir es el de Coulomb. Este hábil físico se sirvió de él para determinar las circunstancias que en el frote de dos cuerpos determinan la especie de electricidad que cada uno adquiere; y de este modo descubrió un gran número de hechos curiosos, que pueden verse en el tratado general.

CAPITULO IX.

De las electricidades disimuladas.

Habiéndonos ya formado una teoría completa y segura de la accion de la electricidad nos será fácil comprender el efecto de algunos instrumentos que la hacen mas enérgica y mas durable, ya atrayendo á un solo punto toda la electricidad de un sistema de conductores por el influjo de una electricidad de naturaleza contraria, ya empleando la influencia

permanente de una misma cantidad de electricidad, para determinar sucesivamente la separacion de las electricidades combinadas de diferentes conductores presentados á alguna distancia. Nos bastará, por decirlo asi, hacer la descripcion de estos instrumentos, pues la teoría se presentará como por sí misma.

El condensador.

Cuando un conductor A aislado y en su estado natural se pone en contacto con un sistema de conductores electrizados, ó con un manantial permanente de electricidad, adquiere una carga determinada de este fluido; pero si se acerca á él otro cuerpo B en estado natural y que comunique libremente con el suelo, la presencia de este cuerpo hace al primero cargarse de electricidad mucho mas fuertemente. En efecto, la electricidad de que se hallaba cubierto A en el principio obra sobre las electricidades combinadas de B al paso que se acerca, rechaza al suelo la electricidad de su mismo nombre, y atrae la del nombre contrario, que se fija en la superficie de B mas inmediata á A. Pero por esta misma atraccion se rompe el equilibrio en el sistema de conductores con que A comunica, y se esparce sobre este cuerpo una nueva cantidad de fluido libre, de donde resulta una nueva descomposicion del fluido en B, y asi sucesivamente, hasta tanto que el fluido acumulado en A se pone en equilibrio entre la repulsion que ejerce sobre sí mismo y la atraccion del fluido de B.

Todos estos fenómenos que la teoría indica se comprueban exactamente por la esperiencia.

Se comunica una débil electricidad á los grandes conductores de la máquina; y despues, tomando un disco metálico A, fig. 28, aislado y suspenso del gancho C por medio del tubo de vidrio M, se hace tocar el gancho con los conductores. De este modo toma el disco una pequeña cantidad de electricidad,

que separado del conductor puede dar cierto grado de divergencia á las bolitas de sahuco de un electróscopo aislado, compuesto de dos hilos de lino colgados de una varilla de cobre.

Hecha esta operacion, los conductores han perdido una cantidad tan pequeña de electricidad, que se les puede considerar igualmente tan cargados como antes; y se les vuelve á tocar del mismo modo, pero teniendo debajo del disco aislado A, otro B que comunica con el depósito comun, fig. 29. La presencia de B se mantiene hasta tanto que el primer disco A se separa de los conductores, y este toma asi una electricidad mucho mayor que la primera vez, como se puede observar presentándole de nuevo al electróscopo. Es evidente que debe retirarse A bajo la influencia de B; pues si se retirase este primero, el fluido acumulado en A volveria al momento al sistema de conductores, conforme á las leyes de su primer equilibrio.

Si se repite esta esperiencia, teniendo al principio el disco B muy separado de A, y acercándole progresivamente hasta llegar á ponerle muy inmediato, se hallará que la carga de A aumenta cada vez mas. Esto es muy conforme á la teoría; porque la atraccion recíproca de la electricidad de B y de A debe aumentar al paso que sea menor su distancia; y el maximum de carga corresponderia al caso en que la distancia de ambos discos fuese enteramente nula. Pero como no podria llegar á serlo sin escitar una chispita por medio del aire que los separa, se interpone entre ellos un cuerpo muy delgado y dificil de penetrar por la electricidad; como por ejemplo, una laminita delgada de vidrio, un pedazo de tafetan barnizado, ó una capita muy delgada de resina. Con esta precaucion se puede disminuir cuanto se quiera la distancia entre los dos platillos ó discos. Los instrumentos construidos de este modo se llaman *condensadores*.

El condensador de lámina de vidrio está es-

puesto á cargarse de humedad, que como sabemos, se adhiere al vidrio con mucha facilidad y destruye la perfeccion del aislamiento. El de tafetan no es comparable consigo mismo; porque la presion mayor ó menor de los discos sobre el tafetan puede hacer variar su distancia, y por consiguiente la intensidad de la condensacion. El mejor de todos es aquel en que la separacion se hace por una capa sencilla de barniz resinoso aplicada separadamente sobre cada disco; solo que con él es necesario tener cuidado de aplicar un disco á otro sin frotarlos, pues el frotamiento desenvolveria en la capa de resina una electricidad que se adheriria fuertemente á ella, y que podria ser causa de errores en las esperiencias delicadas. Para hacer mas cómodo el uso de estos instrumentos se da al platillo B un pie sólido de metal, y se adapta á la superficie superior de A un mango aislador M de vidrio barnizado. Todo el aparato está representado en la fig. 30. Cuando se quiere usar se colocan los discos uno sobre otro, se toca al inferior B para hacerle comunicar con el suelo, y se llega á los cuerpos electrizados el boton *a* de un hilo metálico unido al disco superior A, llamado *colector*, porque en efecto, es el que recibe la electricidad de los cuerpos á que se aplica. Despues del contacto se coloca el pie del condensador sobre una mesa sólida, y teniéndole fijo de este modo se levanta el disco colector por el mango M, y se prueba la electricidad de que se halla cargado. Es preciso tambien separar los discos paralelamente á sí mismos, pues si se separasen de un modo oblícuo, la electricidad del disco colector se dirijiria á la parte mas inmediata á B; y su acumulacion podria producir una chispa que atravesaria la capa de barniz y descargaria súbitamente el condensador. Por esta razon debe mantenerse bien fijo el pie del instrumento mientras se levanta el disco colector; porque la adherencia de ambos conspira á hacerlos escurrir uno sobre otro oblícuamente. Igualmente es preciso

no cargar estos instrumentos de mas electricidad que la correspondiente al grado de resistencia que puede ofrecer la doble capa aisladora que separa los discos; pues si llega á vencerse esta resistencia, las dos electricidades acumuladas rompen la capa y se unen por esplosion, como lo harian por medio del aire. Esto sucede muy fácilmente con el condensador de discos barnizados; y por esta razon es preciso reservarle para las cantidades muy pequeñas de electricidad, empleando el condensador de lámina de vidrio, cuando la carga ha de ser muy fuerte. Pero entonces, si los discos no estan barnizados, la mayor parte de la electricidad acumulada se esparce sobre el vidrio uniéndose á él, de suerte que no sigue al disco colector cuando este se levanta.

Cuando un condensador de esta especie comunica con una máquina eléctrica por una de sus caras metálicas, comunicando la otra con el suelo, esta se halla en realidad en el mismo estado que si se la hubiera podido aproximar sin esplosion, muy cerca de un conductor fuertemente cargado; la reunion de estas circunstancias es, pues, eminentemente á propósito para producir una gran descarga. Asi es que cuando se toma con una mano el pie del condensador, lo cual hace participar de su electricidad, y con la otra se toca al cuerpo conductor, las electricidades acumuladas se descargan, y se unen con mucha fuerza por medio del cuerpo; y esto produce en todos los órganos un sacudimiento tanto mas enérgico, cuanto mayor es el condensador, mas fuerte su carga y mas inmediatos estan los discos. Esta conmocion se comunica, aunque debilitándose por medio de una cadena formada por muchas personas agarradas de las manos; y su diminucion proviene sin duda de la resistencia que oponen al paso de los fluidos eléctricos estos cuerpos que no son perfectamente conductores.

Todo el efecto de los condensadores se puede calcular por el siguiente principio que á un mismo

tiempo indica el modo y los límites de la acumulacion que producen. La electricidad A, introducida en el disco colector, neutraliza á distancia una porcion — B de electricidad contraria sobre el disco inferior que comunica con el suelo y la impide el que pueda escaparse. Esta á su vez fija del mismo modo una parte A′ de la electricidad del disco colector y la quita su fuerza espansiva. El platillo colector se halla, pues, en el mismo caso que si solo tuviese A — A′ de electricidad libre, y por consiguiente debe continuar cargándose hasta que esta cantidad iguale á la que hubiera tomado de los conductores, con quienes comunica, si él solo hubiera sido puesto en contacto con ellos sin la influencia del disco inferior. La relacion de A á — B, y de — B á A′ depende de la mayor ó menor distancia que hay entre los discos; pero siempre — B debe ser menor que A, prescindiendo del signo; de suerte, que si A es vitrea y B resinosa, estas dos cantidades puestas en contacto, deberán dar un resultado vitreo. La atraccion de las moléculas de + A sobre — B debe ser menor á distancia que lo seria en contacto; y puesto que atravesando la capa aisladora neutralizan — B y le quitan su fuerza espansiva natural, es forzoso que su número compense la debilidad de su accion. Por consiguiente debemos representarnos siempre B como una fraccion de A; supongamos, pues, para fijar las ideas que sea $\frac{99}{100}$ de A, y sigamos en nuestra determinacion.

Del mismo modo que + A neutraliza — B, atravesando el grueso de la capa aisladora, del mismo modo hay en A una parte A′ que es neutralizada por — B; y siendo exactamente el mismo el modo de obrar, la proporcion de saturacion deberá ser tambien la misma, es decir, $\frac{99}{100}$. Por tanto A′ será $\frac{99}{100}$ de B, y como B es $\frac{99}{100}$ de A, se sigue que A′ será $\frac{99}{100} \times \frac{99}{100}$ ó $\frac{9801}{10000}$ de A. El esceso de A sobre A′, que espresa la parte de electricidad que queda libre sobre el disco colector, será, pues, $A - \frac{9801}{10000} A = \frac{199}{10000} A$, fraccion casi exactamente igual á $\frac{1}{50}$ de A;

asi que, este disco deberá continuar adquiriendo electricidad hasta que la quincuagésima parte de su carga equivalga á la cantidad que tomaría naturalmente de los mismos conductores, si se les presentase solo y sin la influencia del disco inferior. Su capa bajo esta influencia será, pues, cincuenta veces mayor que en el estado de separacion.

El mismo raciocinio que acabamos de hacer, manifiesta que en general la fuerza condensante del instrumento, depende del quebrado que espresa la relacion de la saturacion de sus dos superficies á distancia. Cuanto mas se acerque á la mitad esta fraccion, mas iguales serán entre sí las cantidades de electricidad que pueden neutralizarse atravesando la capa aisladora, y menor será el esceso de electricidad que quede libre en el disco colector. La relacion de este esceso con la carga total, podrá siempre calcularse como en el ejemplo anterior, é invirtiéndole se tendrá la medida de la condensacion.

Esto supone que se conoce el valor de la fraccion que espresa la relacion de saturacion de los dos platillos, lo cual puede conseguirse por la esperiencia. Para esto se aislará el instrumento y se cargará su disco colector de una electricidad cualquiera, haciendo comunicar con el suelo el disco inferior; hecho esto se romperá esta comunicacion, y quedando aislados ambos platillos, se separará bien paralelamente uno de otro con sus capas aisladoras, agarrándolos por los mangos de vidrio. Se colocará en seguida el plano de prueba sobre cada uno de ellos en un punto situado del mismo modo; por ejemplo, sobre la circunferencia, y se medirán en la balanza de torsion las cargas que haya adquirido en uno y otro caso. Estas cargas serán proporcionales á los gruesos de las capas eléctricas en los puntos de contacto, y por consiguiente á las cantidades totales de electricidad de ambos discos, puesto que estos son iguales en tamaño, y los puntos de contacto se hallan situados del mismo modo. Asi, representando

por A la carga que ha tomado el plano de prueba sobre el disco colector, — B representará la que ha tomado sobre el disco inferior, y la relacion de esta con la primera, será la fraccion que espresa la relacion de saturacion de ambos discos, de donde se podrá deducir por el cálculo la medida de la fuerza condensante. Este método es mas seguro que el de tratar de determinar directamente la proporcion de condensacion, como parece que pudiera hacerse comparando por medio del plano de prueba las cargas que recibe el disco colector de un mismo sistema de conductores, cuando está solo y cuando se halla sujeto á la influencia del otro disco; porque para que esta comparacion fuese exacta, seria necesario que los conductores tuviesen exactamente la misma carga en ambos casos; igualdad que jamas puede asegurarse.

Determinada la fuerza condensante, el efecto absoluto de un condensador, depende aun de la cantidad absoluta de electricidad que el disco colector tomaria de los conductores con que comunica, si estuviese solo en contacto con ellos. Pero como siendo iguales todas las demas circunstancias, esta cantidad debe aumentar segun la superficie del disco colector, se sigue que los condensadores de un gran diámetro acumularán mas electricidad que los de un diámetro mas pequeño, y al descargar deberán producir mayores choques, como lo confirma en efecto la esperiencia.

Estas neutralizaciones recíprocas, de que acabamos de valernos para establecer nuestros cálculos, pueden hacerse sensibles por medio de la esperiencia siguiente. Habiendo cargado un condensador de lámina de vidrio, comunicando con la tierra el disco inferior, aíslese todo el aparato, y tóquese este platillo inferior; ninguna electricidad se podrá sacar de él, y por consiguiente toda la que existe se halla disimulada. Tóquese entonces el disco superior y dará una chispa, sin que por esto se desprenda de to-

da su electricidad, pues conservará aun una cantidad considerable. Esta parte, pues, está tambien disimulada. Para hacerla sensible, tóquese de nuevo el platillo inferior y dará una chispa; porque su electricidad no está disimulada toda desde que se ha quitado una parte de la que le contenia. Mas por este nuevo contacto ha quedado libre otra parte de la del disco superior que dará aun otra chispa, y asi alternativamente hasta que se descarguen del todo los dos platillos. Es fácil determinar por el cálculo la ley de esta progresion segun la proporcion constante de saturacion entre los dos discos. De este modo se halla que el primer contacto quita mas electricidad que el segundo, este mas que el tercero, y asi sucesivamente; de manera, que las cantidades estraidas de este modo, siguen una progresion geométrica decreciente, cuya razon es la relacion de saturacion.

Cuando se tocan á un mismo tiempo ambos platillos, todas las cantidades de electricidad que hubieran salido de una y otra cara por medio de contactos sucesivos, se comunicarán simultáneamente por los órganos, y este solo golpe descarga completamente el condensador.

Hemos dicho antes que en el condensador de lámina de vidrio, la mayor parte de las electricidades acumuladas no adhiere de ningun modo á los discos metálicos, sino que se une á las dos caras opuestas de la lámina. En este caso, los discos no producen en realidad otro efecto que el de establecer una libre comunicacion entre los diferentes puntos de cada una de sus superficies, á fin de que la electricidad pueda estenderse por ellas libremente, y aun escaparse en el momento de descargar de todos sus puntos á un mismo tiempo. Este resultado puede comprobarse fácilmente por la esperiencia, para lo cual, despues de haber cargado un condensador de lámina de vidrio, se coloca sobre un aislador, se levanta por el mango aislador el disco superior y se le coloca con esto

solo se saca una chispa pequeña, y la fuerza espansiva pasa al lado del otro disco. Hecho esto, se levanta tambien la lámina de vidrio, cogiéndola por uno de sus ángulos, y se toca el platillo inferior que da una chispa igualmente muy pequeña. Es preciso, pues, que las electricidades acumuladas hayan quedado adheridas á las dos caras de la lámina de vidrio; y en efecto, si se coloca de nuevo entre los dos discos aislados sin comunicar á estos ni á aquella ninguna nueva cantidad de electricidad, el condensador se hallará otra vez cargado por sí mismo, casi tan fuertemente como antes. O bien sin colocar la lámina entre los dos discos, se pueden aplicar las dos manos á sus dos superficies, de modo que se toque á ambas á un mismo tiempo en un gran número de puntos, y se esperimentará una descarga como si la lámina hubiese estado cubierta con los discos, porque la estension del contacto de las manos proporciona á un gran número de puntos de ambas superficies el poder descargar á un mismo tiempo. Pero si en vez de tocar las superficies de la lámina con las manos estendidas, no se hace mas que pasear por ellas el estremo de los dedos, se sentirá un chisporroteo y una descarga local en los puntos en que se toque; mas no se verificará una descarga general, y no se estará espuesto á fuertes conmociones.

Æpinus, á quien se debe la invencion del condensador, ha hecho una esperiencia en cierto modo inversa de la anterior, y que manifiesta del modo mas sensible cuál es el efecto de la capa aisladora interpuesta entre los dos discos. Ha empleado en vez de estos, dos grandes círculos de madera cubiertos de hojas de estaño, y acercándolos paralelamente uno á otro, sin mas intermedio que la capa de aire que los separaba, ha hecho comunicar el superior con los conductores de una máquina eléctrica, estando el inferior en comunicacion con el suelo. Este aparato era, como se ve, un verdadero condensador de lámina de aire; por consiguiente, se ha cargado co-

mo cualquiera otro, y ha dado la conmocion cuando se ha tocado á un mismo tiempo un círculo con cada mano. Para obtener grandes efectos de este aparato, es preciso emplear láminas de estaño muy anchas; porque habiéndolas de mantener á bastante distancia para que no pase directamente ninguna chispa de uno á otro, es necesario que la estension de sus superficies compense la debilidad de la fuerza condensatriz. Por otra parte, la anchura de estas láminas parece que es una causa que hace retardar la salida de la chispa al acercarse paralelamente los dos discos; siendo su efecto en cierto modo contrario al de las puntas. La única diferencia que hay entre este aparato y el condensador ordinario, es que las superficies de la capa aisladora no existen realmente sino cuando los platillos se hallan en presencia uno de otro, pues dichas superficies no son sino los límites de aquellas por donde se miran los discos.

Aunque como hemos dicho, Æpinus es quien ha descubierto en realidad el condensador y ha dado su teoría, como se puede ver en sus obras, se debe á Volta el haber creado su utilidad, por decirlo asi, reuniéndole al electróscopo para descubrir y hacer sensibles hasta las mas pequeñas causas de electricidad.

En efecto, en las investigaciones de física se encuentran muchas veces causas de electricidad que no pueden producir sino una fuerza repulsiva muy débil, y que se detienen cuando han llegado á este límite, pero que si se destruye la electricidad que han producido, vuelven á desenvolverla de nuevo. Tal es, por ejemplo, la electricidad que se desenvuelve en la mayor parte de las combinaciones químicas, y bien pronto verémos otros muchos ejemplos. Ahora bien, supongamos que se hagan comunicar estos manantiales constantes de electricidad con el disco colector de un condensador hasta que la cantidad no disimulada sea igual á la que este disco colector podria recibir directamente del mismo manan-

tial. Llamemos, pues, E esta cantidad. Cuando se haya llegado á este límite, si se separa el condensador del manantial y se quita el disco colector, la carga eléctrica será igual á E multiplicada por la fuerza condensante. Podrá asi llegar á ser sensible por pequeña que sea la cantidad E, si la relacion de saturacion difiere poco de la unidad, es decir, si es muy pequeña la distancia entre los dos platillos del condensador; condicion que llena perfectamente la capa de barniz resinoso.

Para unir las indicaciones de este instrumento con las del electróscopo de paja, que Volta usa comunmente como mas portatil y cómodo, se destornilla el boton superior de la varilla, y se sustituye en su lugar el disco inferior del condensador, fig. 31. Este disco se halla entonces aislado por las partes de vidrio del electróscopo. Se le hace comunicar directamente por medio de un hilo metálico con el manantial constante de electricidad, y se toca solo el disco superior para hacerle comunicar con el suelo; en esta disposicion el disco inferior es el que acumula la electricidad. Cuando se cree está ya bastante cargado, se separa del manantial sin tocarle, se quita el platillo superior por su mango, y quedando libre la del inferior, manifiesta su fuerza repulsiva por la divergencia que da á las pajas; en seguida es fácil determinar su naturaleza por las pruebas ordinarias. A veces es mas cómodo hacer comunicar el manantial constante con el disco superior del condensador, y entonces se pone en contacto con el suelo el que comunica con las pajas. Cuando se halla ya cargado el aparato, se deja de tocarle, se separa del manantial, y se levanta el platillo superior que lleva consigo la electricidad que ha adquirido. Entonces el disco inferior que se halla aislado, tiene la electricidad contraria y la manifiesta en las pajas. Su carga es un poco menor que la del platillo conductor, puesto que la relacion de saturacion es siempre un quebrado; pero si como suponemos, la capa aisladora

es muy delgada, la diferencia será insensible, pues entonces esta relacion debe diferir muy poco de la unidad. Lo que es absolutamente necesario no olvidar, es que esta electricidad es de naturaleza opuesta á la del manantial.

Es claro que se puede aplicar igualmente el condensador al electróscopo de Coulomb; mas como el método es exactamente el mismo, es inútil que nos detengamos en él.

El electróforo.

Si hallándose un cuerpo electrizado y aislado se le acerca otro cuerpo no aislado, este toma la electricidad contraria, y si se le aisla de repente quedará cargado de electricidad. Esto se ha probado muchas veces, y puede aun serlo de otro modo.

Se cargan los conductores de la máquina de cierta cantidad de electricidad, y se le acerca á alguna distancia un disco metálico sostenido por una varilla de vidrio; retirando este disco sin tocarle se hallará en el estado natural; pero si se le toca mientras se halla en presencia de los conductores y se retira en seguida despues de haber dejado de tocarle, se hallará cargado de una electricidad contraria á la de los conductores.

Se toma un disco metálico colocado sobre un pie, se aisla y se electriza por medio de una chispa, y en seguida se hace uso de él como en la esperiencia anterior para cargar otro disco metálico que se acerca hasta cierta distancia, tocándole primeramente, y aislándole despues. Este fenómeno se renueva mientras la electricidad del disco aislado no se disipa enteramente por el contacto del aire.

Para saber lo que sucede á la electricidad de este disco mientras obra asi por influencia, no hay mas que hacer comunicar su superficie inferior con un electróscopo de hilos aislado como el disco: al momento se ven separarse los hilos. Pero á medida que se acerca el disco no aislado, disminuye su divergen-

cia, y al fin llega á ser sensiblemente nula, y parece que se ha destruido la electricidad que los separaba. Mas en realidad solo se halla disimulada, porque luego que se aleja el otro disco que comunica con el suelo, los hilos empiezan á separarse de nuevo con la misma fuerza que la primera vez.

La descomposicion del fluido natural del cuerpo que se acerca, y por consiguiente la cantidad de electricidad de que se carga, aumenta á medida que es menor su distancia al disco electrizado; y llegaria á su mayor grado de intensidad si la distancia pudiese ser nula; mas no puede esta disminuirse indefinidamente sin escitar una chispa de uno á otro cuerpo; por lo cual se interpone entre ambos una laminita muy delgada de una materia impenetrable á la electricidad, por ejemplo, un vidrio ó una capa de resina.

Para manifestar la aplicacion de este método se aisla un disco metálico, como el platillo inferior de un condensador; se cubre con una lámina de vidrio, y se electriza por medio de una chispa; en seguida se coloca sobre esta lámina el otro platillo con su mango aislador, se toca en su superficie superior; y levantándole en seguida por el mango se le encuentra cargado de una electricidad contraria á la del disco aislado. Esta esperiencia puede repetirse cuantas veces se quiera; y esta es la razon porque se ha dado á estos aparatos el nombre de *electróforos*, que quiere decir portadores de electricidad.

Se ve, pues, que el condensador y el electróforo estan fundados sobre la accion eléctrica que se ejerce sin contacto. Mas en el condensador se emplea la presencia de un cuerpo no aislado para aumentar la carga de un cuerpo aislado, en vez de que en el electróforo el cuerpo aislado y electrizado es quien determina la acumulacion.

Se pueden construir electróforos en que el grueso de la capa aisladora sea enteramente insensible. Para esto basta emplear como platillo inferior una lá-

mina de vidrio ó una capa de resina electrizada por frotamiento: como estas sustancias retienen fuertemente la electricidad se puede colocar el disco superior inmediatamente sobre su superficie, sin que pierdan una cantidad notable de fluido; en tanto que se ejercerá con una grande energía su accion para descomponer las electricidades naturales de este disco. Los electróforos mas usados estan construidos de este modo, con una especie de torta de resina, fundida dentro de una cubierta de metal, fig. 32. Se electriza la superficie de esta torta sacudiéndola con una piel de gato bien seca; toma la electricidad resinosa, y su influencia fija en el platillo superior la electricidad vítrea. Este aparato es de un uso muy frecuente en las investigacionas químicas, en las que muy de ordinario se necesita electricidad; y de él se pueden sacar muchas confirmaciones admirables de la teoría que se ha espuesto en el tratado general.

Cuando el platillo superior está cargado y colocado sobre la resina, la electricidad vítrea que se halla en su superficie inferior y la contraria producida en la resina por el frotamiento se neutralizan mutuamente, y ni una ni otra manifiesta tendencia alguna á desprenderse; por lo mismo no pueden ser disipadas por el aire, que por otra parte halla una gran dificultad para introducirse entre ambas superficies. Un aparato cargado de este modo debe, pues, conservar por mucho tiempo sus dos electricidades; y en efecto, permanecen en él meses enteros, con tal que el electróforo no se halle colocado en un sitio húmedo.

Sin embargo, la atraccion permanente de las dos electricidades contrarias debe vencer poco á poco la resistencia que opone la resina al desprendimiento del fluido resinoso que posee, y á la introduccion del fluido vítreo; y probablemente esta es la única causa que hace que al cabo de cierto tiempo los electóforos se hallen descargados, y todas sus par-

tes en el estado natural.

Los efectos de esta atraccion recíproca pueden acelerarse aumentando mucho su energía. Para conseguirlo, luego que se halla cargado el electróforo se quita el platillo metálico, y se vuelve á colocar sobre la resina; pero no ya paralelamente, sino en direccion oblícua y por su circunferencia. Entonces, acumulándose toda su electricidad vítrea en la parte que toca á la resina, tomará una fuerza mucho mayor: saldrá del platillo, neutralizará completamente la electricidad resinosa de los puntos á que se dirije, y despues de algunos contactos repetidos del mismo modo en diferentes partes de la resina, esta se hallará descargada enteramente.

De aqui se deduce una esperiencia muy curiosa. En vez de hacer obrar sobre la resina la electricidad vítrea que ha desenvuelto por su influencia, hágase obrar sobre otra torta de resina que se halle en el estado natural; se adherirá igualmente á la superficie de esta resina, que se hallará electrizada vítreamente, y quedará capaz de desenvolver á su vez la electricidad resinosa. Luego que de este modo se halle cargada la segunda torta, colóquese sobre su superficie un platillo metálico, y se tendrá un electróforo contrário al primero. Este puede servir para cargar la superficie de una tercera torta que adquirirá la electricidad resinosa; y en fin, podrán continuarse estas alternativas á un número cualquiera de tortas que se hallarán electrizadas, unas resinosa y otras vítreamente.

Por este mismo método se puede electrizar una superficie, únicamente en ciertas partes; bastando adaptar al platillo que lleva la electricidad una varilla y un boton metálico, semejantes á los del disco colector de un condensador. Si se toca la resina con este boton, toda la electricidad se dirijirá al punto de contacto; y elijiendo estos puntos á continuacion unos de otros se pueden trazar los contornos que se quieran.

Si se pretenden hacer visibles estos contornos no hay mas que esparcir sobre la superficie de la resina algun polvo ligero compuesto de una sustancia no conductriz; por ejemplo, de resina ó de azufre. Las partículas de este polvo se adhieren únicamente á los puntos electrizados; de suerte, que volviendo la torta boca abajo caen por su propio peso todas las que no corresponden á estos puntos, y no quedan sino las que se hallan sobre los contornos electrizados. Se observa que las partículas del polvo afectan colocaciones regulares y diferentes, segun la naturaleza de la electricidad que las retiene; de suerte, que marcando puntos con ambas electricidades sobre diversas partes de una misma torta se obtienen á un mismo tiempo las dos especies de figuras. Esta curiosa observacion se debe á Lichtenberg, fisico aleman; y por lo mismo las figuras trazadas de este modo se llaman figuras de Lichtenberg.

Para hacer mas sensibles estos fenómenos se emplea una mezcla de azufre y minio triturados juntos. El frotamiento producido por la trituracion comunica al azufre la electricidad vítrea y al minio la resinosa. Se pone este polvo en una especie de fuellecito que sirve para dirijirle sobre la torta de resina electrizada; y al adherirse á esta las dos sustancias se separan, y se las distingue por su colocacion y por su color, pues el azufre es amarillo y el minio rojo.

A poco tiempo de haberse hecho este descubrimiento hubo fisicos alemanes que observaron que el polvo de resina, esparcido de este modo sobre la superficie de una torta electrizada, esperimentaba poco á poco movimientos gradualmente progresivos, pero que nada tenian de regulares, y se apresuraron á fundar un sistema sobre esta base. Pero otros observadores mas atentos reconocieron que estos movimientos eran producidos por insectos pequeñísimos, llamados *acaros*, que se hallaban en el polvo de resina, y se paseaban por la superficie electrizada.

La botella de Leyden.

En los dos párrafos anteriores hemos examinado los fenómenos que producen las dós electricidades vítrea y resinosa cuando se hallan disimuladas recíprocamente, en virtud de su accion á distancia. Hemos visto que cuando se hallan en este estado, si se les presentan cuerpos conductores que comuniquen de una á otra, se precipitan con fuerza, se reunen, y vuelven asi á su estado natural de combinacion.

Las esperiencias que vamos á examinar ahora corresponden al mismo género de accion, y se esplican por los mismos principios; pero su exámen es muy importante, porque proporcionan medios poderosos de acumular la fuerza eléctrica, y dan origen á una multitud de fenómenos que exijen esta acumulacion.

Se toma en la mano un vaso de vidrio lleno en parte de agua, en la que se introduce un conductor metálico que comunica con una máquina. Si despues de haber hecho dar algunas vueltas al disco de esta se trata de sacar el conductor con una mano, teniendo el vaso en la otra, se recibe una conmocion tanto mas enérgica, cuanto mayor es el vaso y mas fuerte la máquina, y cuanto mas tiempo se haya hecho obrar esta.

Esta esperiencia, muy anterior al condensador, al electróforo y á toda la teoría de la electricidad se debió á la casualidad, pero á una *casualidad observada*, hecha al principio en Leyden por Cuneus y Muschenbroeck. Su resultado fue para ellos un objeto de sorpresa y aun de espanto; todos los físicos la repitieron, y familiarizados en breve con un fenómeno que los habia asustado al principio, trataron de investigar cuáles eran las condiciones mas á propósito que debia tener el aparato para reproducirle. Desde luego reconocieron la necesidad de una

sustancia conductriz, tal como el agua, el mercurio, ó láminas metálicas aplicadas á las paredes interiores del vaso; vieron tambien que se necesitaba una cubierta esterior igualmente conductriz, y que la mano hacia este oficio de un modo muy imperfecto; en fin, hallaron que era indispensable quitar á la electricidad toda comunicacion directa del interior del vaso con el esterior, escepto en el momento de la esplosion.

Lo mas cómodo para reunir todas estas condiciones es emplear una botella ó frasco de vidrio comun, á cuya parte esterior se pega una cubierta delgada de metal, y cuyo interior está lleno de hojitas metálicas igualmente pegadas, ó simplemente diseminadas: una varilla metálica, terminada por una bola en la parte esterior, atraviesa el tapon de la botella, y sirve para conducir la electricidad al interior de esta; en fin, se barniza el tapon y parte del cuello por la parte esterior. Este aparato, representado en la fig. 33, ha recibido generalmente el nombre de *botella de Leyden*, por haberse observado la primera vez sus propiedades en aquella ciudad.

La teoría de este aparato es tan exactamente conforme á la del condensador, que pueden aplicársela las mismas espresiones casi literalmente.

La electricidad que se introduce en el interior de la botella, y que supondremos ser vítrea, descompone por su influencia las electricidades naturales de la cubierta esterior, repele la vítrea y fija la resinosa, que por su influencia fija en parte la interior; de suerte, que la botella forma un verdadero condensador. Cuando se hacen comunicar las dos cubiertas, las dos electricidades que se hallan acumuladas en ellas se precipitan una sobre otra con una gran velocidad, y atravesando los órganos de la persona que la tiene producen en ellos una gran conmocion, ó lo que viene á ser lo mismo, el cuerpo que establece la comunicacion sufre una descom-

posicion repentina y violenta de sus electricidades naturales; cada una de las cuales se dirije á la cubierta de la botella donde se halla la electricidad contraria.

Esta esplicacion puede comprobarse en todos sus pormenores por medio de esperiencias semejantes á las que hemos empleado respecto al condensador. En general la botella de Leyden no es mas que un condensador, cuya lámina aisladora es curva, y cuyos discos son en la parte esterior la hoja metálica que cubre la botella, y en el interior los cuerpos conductores de que está llena.

Cuando se cuelga en el aire una botella de Leyden electrizada, la accion absorvente de este fluido no puede obrar sino sobre la parte de electricidad que se halla libre sobre una y otra cara de la lámina, y por consiguiente la atraccion recíproca de las dos electricidades disimuladas contribuye á protejer á ambas. La observacion confirma esto de la manera mas evidente por el tiempo considerable que necesita para descargarse completamente una botella de Leyden hecha de vidrio delgado, cuando se halla aislada, y se impide la comunicacion directa de sus dos superficies por medio de una capa de goma laca de buena calidad.

Sin embargo, si al cabo de cierto tiempo se tocan las dos superficies con el plano de prueba, se halla que se han desenvuelto en ellas electricidades libres, de naturaleza contraria, y en una cantidad sensiblemente igual; lo que demuestra exactísimamente el cálculo. Luego si en este momento se esparciese sobre ambas superficies algun polvo formado de una sustancia no conductriz, se adheriria á ellas por la atraccion de las electricidades libres; y si estas no tuviesen bastante fuerza para repeler las partículas del polvo se encontrarian preservadas del contacto del aire; de manera, que siendo nula la pérdida que sufriesen, el aparato podria permanecer cargado indefinidamente. En efecto, sucede asi

con las láminas de vidrio delgadas, cuando despues de haber cargado sus dos superficies se esparce sobre ellas la mezcla de azufre y minio de que hemos hablado antes; pues colgándolas en una pared bien seca de un cordon de seda conservan su electricidad durante meses enteros.

En general, siempre que se trata de fenómenos eléctricos es preciso no perder de vista la influencia que puede tener sobre ellos el contacto del aire. Sin esto podria creerse, por ejemplo, segun la esperiencia, que una botella de Leyden, ó cualquiera otro aparato de este género, puede cargarse con solo recibir la electricidad de la máquina sobre una de sus superficies, sin que comunique la otra con el suelo; porque en el hecho, una botella asi aislada se carga poco á poco, sobre todo si se la electriza mucho tiempo. Pero esto consiste en que la electricidad de la otra superficie, repelida y puesta en libertad por influencia, se halla espuesta á la accion absorvente del aire, que la disminuye poco á poco; lo cual produce la acumulacion de cierta cantidad de fluido eléctrico sobre la superficie que comunica directamente con los conductores. Para llevar esta pérdida á su maximum no hay mas que armar con algunas puntas la superficie esterior; en cuyo caso la botella, aunque aislada en el aire, se carga casi tan fuertemente, como si la superficie que tiene las puntas comunicase con el suelo.

Las baterías eléctricas.

Cuando se quiere acumular mucha electricidad se hacen botellas de Leyden de bastante tamaño, revestidas por ambas superficies de láminas metálicas, y se hacen comunicar todas las varillas con un mismo conductor metálico, que al tocarle produce su descarga simultánea. Este aparato, fig. 34, se llama batería eléctrica; y generalmente se construye con un cuerpo aislador que comunica con el suelo por

medio de un conductor metálico que puede ponerse ó quitarse, segun se quiera.

Cuanto mayor superficie de vidrio cubierto tiene una batería, tanta mas electricidad acumulada tiene con igual fuerza repulsiva; pero tambien se necesita tanto mas tiempo para cargarle con una máquina determinada. Siempre que se empleen baterías muy grandes es útil separarlas en varias divisiones, para poder proporcionar la cantidad de fluido á los efectos que se quieren producir; lo cual presenta ademas la ventaja de poder cargar mas prontamente las baterías con la misma máquina, que es lo que vamos á esplicar.

Supongamos un número cualquiera de botellas de Leyden, ó en general de superficies de vidrio cubiertas, colgadas unas debajo de otras por medio de conductores metálicos, como representa la fig. 35; unamos la primera á un cordon de seda S, y demos comunicacion á la última con el suelo. En seguida dirijamos sobre la superficie superior A_1 A_1 la electricidad de la máquina que supondremos vítrea; es evidente que todas las láminas inferiores se cargarán al mismo tiempo que la primera por las repulsiones sucesivas de la electricidad de una en otra. Pero el raciocinio y la esperiencia demuestra igualmente que en este modo de cargar *por cascada*, la descomposicion de las electricidades naturales se debilata con una estrema rapidez al paso que se separa del primer conductor; de suerte, que por poco que se aumente el número de botellas ó láminas, las últimas apenas se cargan. Por otra parte, si se hace comunicar el primer anillo y el último de la cadena por sus superficies opuestas, solo se produce la descarga de las electricidades que han adquirido individualmente, recomponiéndose por sí mismas sin producir ningun efecto las de los términos intermedios; en vez de que se aprovecharia igualmente su efecto si despues de haber cargado el sistema por cascada se desuniesen sus partes sucesivas para ha-

cer comunicar entre sí las superficies cargadas de electricidades de la misma naturaleza y descargarlas simultáneamente. Este método se aplica con feliz éxito para cargar las grandes baterías: para esto es necesario dividir la batería en secciones sostenidas sobre pies aisladores, como representa la fig. 36. Cuando se quieren cargar todas ó algunas de ellas, se establece la comunicacion entre las superficies sucesivas B_1 A_2 B_2 A_3 &c. por medio de varillas metálicas C_1 C_2 &c. que pasan por anillos dispuestos para este fin, y se hace comunicar con el suelo la última superficie Bn. Entonces se pueden quitar unas despues de otras las varillas metálicas C_1 C_2 &c.; porque cuando se quita, por ejemplo, C_1, no puede haber descarga ninguna, puesto que la electricidad B_1 está contenida por A_1, y la electricidad A_2 por B_2. Hecho esto, y separadas asi las baterías parciales, se establece la comunicacion entre sus superficies A, *arrojando* (no poniendo, porque seria esponerse á una descarga) sobre ellas las mismas varillas C_1 C_2 &c., que tocando á los conductores que unen las diversas partes de cada batería, las ponen todas en comunicacion. Cada vez que cae la varilla sobre dos baterías consecutivas se escita una chispa de una á otra; lo cual proviene de la desigualdad de las cargas que habian adquirido en la primera disposicion. Luego que se hallan reunidas todas las baterías, se pueden descargar de un solo golpe, haciendo comunicar entre sí una parte cualquiera de las dos superficies estremas A_1 Bn; ó si se quiere, se continúa moviendo la máquina para acabar de cargar completamente las baterías.

En todas estas operaciones conviene tener un regulador que indique á cada instante el estado en que se halla la batería; porque llegando á cierto grado la carga, la parte de electricidad de las superficies A que disfruta de su fuerza repulsiva puede vencer la resistencia del aire, y dirijirse por esplosion á una de las cargas B; con lo que se des-

cargaria la batería súbitamente, y muchas veces rompiendo parte de las botellas, porque toda la fuerza del choque se dirijiria á un solo punto de la guarnicion metálica. Para evitar este accidente se atornilla sobre los conductores de las superficies A un pendulito compuesto de una espiga metálica T T, fig. 37, y otra espiguita ligera de marfil, á cuya estremidad hay una bolita de sahuco *b*. El fluido libre de las superficies A ejerce sobre este pendulito su fuerza repulsiva, y le hace separar de la espiga T T, conociéndose su mayor ó menor separacion por una division marcada sobre la muestra *c c*. Es claro que este instrumento no da ninguna medida absoluta; pero á lo menos ofrece una indicacion constante, á la cual se puede arreglar, luego que se ha determinado por esperiencia, de una vez para siempre, el grado de repulsion á que puede temerse una descarga espontánea.

Para descargar las baterías se usa el escitador de dos brazos, que hemos descrito en el capítulo 7.º; se coloca uno de ellos sobre una superficie A, y el otro sobre una superficie B, y la descarga se verifica atravesando su sustancia. Generalmente cuando se trabaja en grandes baterías es necesario no esponerse á recibir sus descargas; pues podrian estas ocasionar accidentes muy funestos, y acaso la muerte.

CAPITULO X.

De las pilas eléctricas y de los fenómenos que presentan los cristales electrizados por el calor.

Añadiremos aun algunas observaciones sobre la carga por cascada, que ademas de sernos útiles para la teoría del galvanismo y del magnetismo, tienen actualmente la ventaja de presentarnos nuevos ejemplos de la accion de las electricidades disimuladas.

Concibamos una serie de láminas de vidrio cubiertas de metal por sus dos superficies, y colocadas

paralelamente unas á otras, como representa la figura 38; de manera que la superficie B_1 de la primera comunique por medio de un hilo metálico con la superficie A_2 de la segunda, la superficie B_2 de esta con la A_3 de la tercera, y asi sucesivamente hasta la última, cuya cara posterior B_n comunique con el suelo. Supongamos que hallándose aislado todo este aparato se haga comunicar la primera superficie A_1 con el primer conductor de una gran máquina, y que despues de haberle electrizado por cascada durante algun tiempo, se rompan las comunicaciones con el conductor y con el suelo por medio de cuerpos aisladores. Se pregunta cuál será el estado eléctrico de todas las partes del aparato despues de cierto tiempo.

Para calcularlo es preciso considerar que en el momento de cortarse las comunicaciones, la primera superficie A_1 contiene una cierta carga eléctrica, en parte libre, y en parte disimulada por la electricidad de naturaleza contraria, que ella misma ha atraido y fijado sobre la segunda superficie B_1; lo mismo sucede con la superficie A_2 con relacion á B_2 A_3 con respecto á B_3, y asi sucesivamente. De todas estas cantidades, solo la carga de A_1 es agena del aparato, pues todas las demas provienen de simples descomposiciones de las electricidades naturales: la intensidad absoluta de este desenrollo decrece rápidamente de un elemento á otro; mas no es sensible todo el fluido que se ha desenvuelto en cada uno de ellos, siéndolo únicamente las porciones de electricidad libre, que son todas de la misma naturaleza que la que se halla en A_1.

Esto supuesto, si se colocase el aparato en un medio perfectamente aislador, es claro que se mantendria constantemente este estado de equilibrio; pero hallándose rodeado por un medio absorvente como es el aire, perderá gradualmente su electricidad. Para conocer cómo se verificará esto, es necesario recordar que respecto á un mismo estado del aire,

la pérdida de cada punto es proporcional á la cantidad de electricidad libre que se halla en él: por consiguiente en los primeros instantes será mayor la de la primera superficie A_1 que la de la segunda A_2, puesto que esta tiene menos electricidad libre que aquella, mayor la de A_2 que la de A_3, y asi sucesivamente hasta la última superficie B_n donde será nula, pues en ella no se halla ninguna electricidad libre. Pero llegará á haberla por efecto de la desigualdad de estas pérdidas; porque el equilibrio anterior no existia entre las porciones de electricidad libre de las diferentes caras, sino entre sus cargas absolutas; y pues la de la primera A_1 se ha debilitado, no puede neutralizar en B_1 tanta como antes: lo mismo sucede con la accion de A_2 sobre B_2, y asi hasta la última superficie B_n; de suerte, que no estando ya completamente neutralizada la electricidad de esta superficie, queda una parte en libertad; la cual, siendo al principio muy pequeña, va aumentándose gradualmente. Porque si bien desde el instante que se presenta se halla espuesta á la accion absorvente del aire, sin embargo, pierde menos que las porciones libres de las otras superficies por causa de su pequeñez; y continuando del mismo modo el cambio de equilibrio, la pérdida de electricidad va disminuyendo en la primera superficie, aumentando en la última, y sufriendo alteraciones medias entre estas dos en las superficies intermedias. No pueden, pues, tener otro límite estas variaciones que el caso de igualdad entre las cantidades de electricidad libre que existan sobre las dos superficies estremas del aparato; lo cual reducirá tambien su carga á la igualdad: entonces la disposicion de la electricidad será en general simétrica, partiendo de estas dos superficies hácia el centro de la columna; las cantidades de electricidad libre serán de naturaleza opuesta á una y otra parte del centro, y gradualmente decrecientes á medida que se aproximan á él; de suerte, que en el mismo centro será ente-

ramente nula, y se podrá tocar sin ningun resultado la lámina que se halle colocada en él. Pero si se rompe la pila por este parage, y se aislan los fragmentos, se desenvolverá poco á poco en el estremo roto cierta cantidad de electricidad libre de naturaleza contraria á la del polo estremo que ha quedado intacto.

He aqui lo que indica el raciocinio, y lo que demuestra exactamente el cálculo: la esperiencia lo confirma tambien rigorosamente, como he observado yo mismo.

Los fenómenos que presentan los minerales, capaces de electrizarse por el calor, son tan enteramente conformes á los que acabamos de describir, que no se puede dudar que la naturaleza ha dispuesto en ellos un aparato semejante, es decir, una pila eléctrica compuesta de una infinidad de láminas paralelas. La sola esposicion de los hechos bastará para convencerse de esta verdad.

Tomemos, por ejemplo, la variedad de la turmalina que Mr. Haüy llama *isogona*, y que tiene la forma de un prisma de 9 lados, terminado por una parte en un cúspide de 3 caras, y por la otra en uno de 6. Cuando se espone esta piedra á una temperatura menor que 34,° de Reaumur, no presenta ningun signo de electricidad; pero téngase sumerjida por algunos minutos en agua hirviendo; y despues de retirarla, cojiéndola por medio del prisma con unas pincitas, preséntese al disco del electróscopo, ó á un pendulito cargado de una electricidad conocida, y se hallará que le atrae por uno de sus estremos y le rechaza por el otro. El cúspide de tres caras posee la electricidad resinosa, y el de seis caras la vítrea. Haciendo el electróscopo muy sensible, se nota que cada especie de electricidad va disminuyendo con rapidez desde el cúspide en que se halla, que se hace muy pequeña á corta distancia de cada estremo del prisma, y que desde alli hasta el centro todo el mineral parece estar en su es-

tado natural; en una palabra, los efectos son exactamente los mismos que en la pila eléctrica, aislado, cuya construccion hemos descrito antes, y únicamente varía el modo de escitar la electricidad. Pueden verse en el tratado general diferentes modos de variar estas esperiencias.

En otros muchos cristales se han reconocido fenómenos análogos, y aun algunos son mucho mas sensibles que la turmalina en esta parte, pues basta elevar un poco su temperatura para electrizarlos. Mr. Haüy, que ha hecho muchas investigaciones curiosas sobre esta materia, ha reconocido que esta propiedad solo existe en cristales, cuyas formas no sean simétricas, y en que las partes en que residen los polos eléctricos opuestos se apartan siempre de la simetría, como los dos estremos opuestos del prisma de la turmalina.

Cuando se derrite azufre en un vaso de hierro, y se deja enfriar despues de haberle aislado, se halla que adquiere la electricidad resinosa y el vidrio la electricidad vítrea. Este hecho parece que nos indica lo que sucede en cada elemento de la turmalina y demas cristales que se electrizan por el calor. Una serie de elementos semejantes, puestos en contacto entre sí, deben formar una verdadera pila eléctrica, en la que el aislamiento y la separacion de las láminas se produce por la no conductibilidad de la sustancia del cristal.

CAPITULO XI.

Efectos mecánicos producidos por la fuerza repulsiva de las electricidades acumuladas.

Hemos observado ya muchas veces que la electricidad, esparcida sobre la superficie de los cuerpos conductores, ejerce una contra-presion sobre el aire atmosférico, que con su peso la retiene en esta superficie; y hemos visto que esta reaccion, siempre

proporcional al cuadrado del grueso de la capa eléctrica puede llegar á ser suficiente para vencer la resistencia que la opone el aire, en cuyo caso se disipa por esplosion separando las partículas aéreas. Segun esto se debe creer que á mayores grados de acumulacion, la electricidad llegará á ser capaz de causar esplosion atravesando otras sustancias mas densas que el aire, y aun podrá separar sus partículas, lo cual se halla confirmado por la esperiencia.

La descarga de una batería eléctrica, suficientemente cargada, puede llegar á romper cilindros de madera que se la hacen atravesar; mata á los animales por cuyo cuerpo se la hace pasar, y sus cadáveres se corrompen con la misma prontitud que los de los animales muertos por el rayo. Rompe tambien y atraviesa láminas de vidrio en la direccion de su longitud, con tal que sus superficies esten pulimentadas; pues de otro modo, haciéndose el vidrio conductor, puede pasar por él la descarga sin romperle. Comunicada por medio de hilos de hierro, plata ó cobre, los funde en pequeños globulitos; y en fin, con un grado aun mayor de acumulacion, estos hilos, y aun láminas de oro, se volatilizan súbitamente. En el tratado general se puede ver el medio mas cómodo de hacer cada una de estas esperiencias, y las precauciones que deben tomarse para hacerlas sin peligro.

Se concibe fácilmente que esta fuerza podrá por una accion semejante producir en las sustancias líquidas y gaseosas todos los fenómenos que resultarian naturalmente de una fuerte compresion, ó de una elevacion repentina de temperatura, que es lo que efectivamente se verifica. Asi, la descarga eléctrica de una simple botella de Leyden inflama los gases hidrógeno y oxígeno, mezclados poco mas ó menos en la proporcion de dos partes de hidrógeno y una de oxígeno en volúmen, y el resíduo es agua líquida. El aparato mas propio para hacer esta es-

periencia es el que representa la fig. 39, y consiste en un tubo de vidrio cerrado por la parte de arriba con un tapon metálico fuertemente soldado, y que tiene en el centro un boroncito que entra en el tubo: una varilla metálica flexible sale por el mismo tubo, y puede acercarse á una distancia muy pequeña del boton. Colocado el tubo en una cuba llena de agua, se introduce el gas en él como en un recipiente comun; y despues que se ha sacado y enjugado se comunica al tapon metálico una chispa eléctrica que se propaga por la mezcla de los gases, y la inflama produciendo una detonacion. Por lo demas, la simple compresion mecánica produce el mismo efecto, como he observado por esperiencia, é igualmente basta una elevacion de temperatura.

La descarga eléctrica inflama tambien los cuerpos muy combustibles, como el fósforo, el eter y otros líquidos espirituosos, es decir, determina su combinacion con el oxígeno del aire. Pero una simple elevacion de temperatura produce iguales resultados; y aun para que la inflamacion salga bien con la electricidad, es conveniente que los líquidos se hayan calentado de antemano. En todo esto nada hay que indique un principio que obra por afinidades electivas y susceptible de combinarse con los cuerpos. Todo lo que puede creerse es que hay una fuerza repulsiva considerable, que separando las moléculas de los cuerpos, y comprimiéndolas unas sobre otras á fin de abrirse paso, las obliga por esta presion mecánica á desenvolver el calor que antes tenian en combinacion.

Pero por la misma razon debemos concebir la mas alta idea de la energía de esta fuerza, y de la enorme velocidad de la materia eléctrica, puesto que no teniendo ninguna masa que pueda apreciarse aun en las balanzas mas sensibles, puede imprimir cantidades de movimiento tan grandes á los cuerpos sólidos y pesados. En efecto, se sabe que cuando un cuerpo pone á otro en movimiento por

su choque, la suma de los productos de las masas por las velocidades es la misma antes y despues del choque. ¿Qué velocidad, pues, no debemos suponer á la electricidad para que pueda observarse esta ley rigorosa de mecánica en los fenómenos que hemos descrito? Acaso el mismo diámetro de la tierra seria aun pequeño para hacer sensible su transmision.

Del mismo modo que se determina la formacion del agua por la chispa eléctrica se ha conseguido tambien descomponerla. Al principio se emplearon para este objeto descargas violentas comunicadas por medio del líquido, que producian en él esplosiones acompañadas de chispas; pero el hábil é ingenioso físico, Mr. Wollaston, ha conseguido producir el mismo efecto de una manera infinitamente mas marcada, mas segura y mas fácil, conduciendo al agua la corriente eléctrica por hilos de platina muy finos, terminados en puntas agudas, y aislados en tubos de vidrio, de modo que no pudiesen perder su electricidad sino por el último estremo de esta punta. Asi se ve que una electricidad aun débil puede adquirir una grande intensidad en la tal punta, cuya energía obra enteramente contra la molécula de agua, con quien la punta se halla en contacto.

Los pormenores de esta curiosa esperiencia, y las importantes consecuencias que de ella se derivan, pueden verse en el tratado general.

CAPITULO XII.

De la electricidad atmosférica y de los para-rayos.

Luego que se descubrió la botella de Leyden y las baterías eléctricas, se vió que los efectos de la electricidad, acumulada por estos aparatos, eran tan semejantes á los del rayo, que fue imposible dejar de conocer esta analogía. Sin embargo, Franklin fue el primero que habiendo reconocido el poder

de las puntas para descargar á distancia los cuerpos electrizados, concibió la posibilidad de emplear este medio para hacer sensibles los efectos de la electricidad atmosférica, y preservarse de sus esplosiones; pero no teniendo en América los medios suficientes para hacer estas esperiencias, invitó á los físicos de Europa á que las observasen. El primero que correspondió á esta invitacion fue Dalibard, físico francés, que hizo construir en Marlyla-Ville una cabaña, bajo la cual estaba fija una barra de hierro de cuarenta pies de largo, aislada en su parte inferior. Habiendo pasado por el zenit de esta barra una nube tempestuosa, dió chispas la barra aproximando el dedo, y presentó todos los efectos que nos dan los conductores electrizados con nuestras máquinas comúnes.

Estos aparatos se multiplicaron; pero todos tenían un defecto comun, á saber, la falta de aislamiento de su base, que se hallaba espuesta á mojarse con la lluvia, y por consiguiente á dejar disipar la electricidad. Canton trató de remediar este defecto, colocando en el estremo inferior de la barra una cubierta de metal que evitase el que la lluvia pudiera llegar á la base aisladora. Por medio de este aparato perfeccionado halló que unas nubes se hallan cargadas de electricidad vítrea, y otras de electricidad resinosa; de suerte, que era muy comun cambiar la electricidad del aparato cinco ó seis veces en una media hora; vió tambien que la lluvia y la nieve al caer electrizaban igualmente la barra, y que estos fenómenos se verificaban del mismo modo el invierno que el verano. Para no tener necesidad de estar visitando contínuamente su aparato, y muchas veces sin utilidad, Canton imaginó adaptar á él otro aparato sumamente ingenioso, fig. 40. Se compone de tres campanitas de relox, T, T_1, T_2, colgadas de una misma varilla metálica, la del medio T de una seda, y las de los estremos de una cadenita metálica: ademas, la campana T comunica

con el suelo por medio de otra cadenita unida á su parte inferior, y entre las campanas hay colgadas de sedas dos esferitas metálicas *b*, *b*.' Segun esto, es claro que si se pone la varilla AB en comunicacion con el conductor vertical que recibe la electricidad de la atmósfera, esta electricidad se comunicará á las campanitas T_1, T_2, por las cadenas metálicas de que estan pendientes. Entonces atraerán á sí las bolitas *b*, *b*', hasta que lleguen á tocarlas, é inmediatamente las rechazarán, atrayéndolas la campana T que comunica con el suelo; llegarán, pues, á él, se descargarán, y volverán á cargarse de nuevo por el contacto con las campanas de los estremos. Estas oscilaciones continuas de las bolitas harán sonar las campanas, y darán á conocer la presencia de la electricidad. Este instrumento se llama *repicador eléctrico*.

Sin embargo, Franklin habia continuado en América siguiendo sus ideas, que en efecto debian ofrecerle un grande atractivo. A falta de edificios elevados pensó hacer bajar la electricidad de las nubes á la tierra, á lo largo de la cuerda de una cometa; y desde las preciosas esperiencias de Newton sobre los colores, presentadas en las bombitas de agua de jabon, fue esta la segunda vez que los juegos de niños vinieron á ser los instrumentos de los mas importantes descubrimientos físicos. Pero Franklin no preveía el peligro estremo á que estaba espuesto; su cometa se habia elevado, y él tenia en la mano la cuerda, sin que diese aun ningun signo de electricidad, aunque la cometa estaba próxima á una nube que parecia cargada de fluido eléctrico. Ya temia Franklin haberse equivocado en sus congeturas, cuando habiendo llovido un poco y habiéndose mojado la cuerda, y aumentádose su facultad conductriz, Franklin llegó á sacar algunas chispas; y es preciso oirle á él mismo contar la alegria que sintió á la vista de este fenómeno que habia previsto. Sin embargo, si la cuerda hubiera estado mas mojada, ó hubiera sido de una naturaleza mas conductriz, es

probable que este hombre célebre hubiera pagado con la vida su temeridad, y hubiésemos quedado privados de todo cuanto ha hecho despues útil y grande respecto á las ciencias; la filosofia y la libertad. Mr. de Romas hizo en Francia esta misma esperiencia de un modo mucho mas perfecto; bien sea que le hubiese imaginado por sí mismo, ó bien que hubiese sido conducido á él por la tentativa de Franklin. Ymaginó entrelazar con la cuerda de la cometa un arambre de hierro muy fino (1), y para que el observador no quedase espuesto al efecto de descargas imprevistas, acababa el estremo inferior de la cuerda en un cordon de seda de 8 ó 10 pies de largo, por cuyo medio quedaban aisladas la cometa y la cuerda. Ademas, en vez de sacar las chispas con el dedo, lo cual hace que el observador reciba la descarga, Romas trató de sacarlas con un conductor metálico que comunicaba con el suelo por una cadena metálica y que el observador tuviese en la mano por el intermedio de un mango aislador, que propiamente era nuestro escitador actual. Habiendo de este modo dado al aparato toda la perfeccion que dictaba la prudencia, Romas no dudó en esponerse á las nubes mas tempestuosas; y en una de estas esperiencias, durante una tempestad que no fue notable ni por los rayos ni por la abundancia de lluvia, hizo salir chorros de fuego de mas de diez pies de largo durante horas enteras. "Imagínese ud., escribia á Nollet, imagínese ud. ver láminas de fuego de nueve ó diez pies de longitud, y de una pulgada de grueso, que hacian tanto ó mas ruido que un pistoletazo En menos de una hora obtuve ciertamente 30 láminas de esta dimension, sin contar otras mil de siete pies y mas pequeñas. Pero lo que me causó mayor satisfaccion en este nuevo espetáculo, fue que las mayores láminas se produgeron espontáneamente, y que á pesar de la gran cantidad del fuego que las formaba constantemente, cayeron sobre el cuerpo

(1) Es mejor emplear una cuerda metálica, como hace Mr. Charles.

conductor mas inmediato. Esta constancia me dió tal seguridad, que no temí escitar este fuego con mi escitador, aun en los momentos que la tempestad era mas fuerte; y aun teniendo solo dos pies los mangos de vidrio de este instrumento, conduge donde quise, sin sentir en mi mano la mas ligera conmocion, láminas de fuego de seis ó siete pies, con la misma facilidad que las de siete ú ocho pulgadas.» Esta sola descripcion basta para manifestar que no deben emprenderse esperiencias de esta clase sin tomar grandes precauciones. Pueden verse en el Tratado general las que indica la teoría, y por cuyo medio no ofrecen las esperiencias sino un espectáculo admirable sin ningun peligro.

Demostrado que el rayo es una esplosion eléctrica, no se puede dudar que la electricidad de una nube tempestuosa podrá debilitarse considerablemente como la de nuestras máquinas por la accion de las puntas. Esta consecuencia, como hemos dicho, no se ocultó á Franklin, y el que primero habia descubierto las propiedades de las puntas inventó los *para-rayos*.

Llámanse asi unas varillas metálicas terminadas en punta que se colocan sobre la parte mas alta de los edificios, de los palos de los navíos &c. Uno de sus estremos se halla en la atmósfera, y el otro comunica con la tierra. El efecto de estos aparatos es recibir ó neutralizar la electricidad de las nubes, y conducirla sin esplosion hasta el interior de la tierra. Desde algo mas de medio siglo que hace que se inventaron, han probado su utilidad un gran número de ejemplos, y la teoría la manifiesta de un modo convincente. Cuando una nube electrizada pasa á una distancia tal, que su influencia pueda ser sensible, descompone las electricidades naturales de la barra repele á la tierra la del mismo nombre, y atrae la del nombre contrario, que se dirige al estremo superior de la punta, donde adquiere una intensidad, tanto mayor, cuanto mas fuerte es la accion de la nube.

De aqui resulta que las partículas de aire húmedo situadas entre la nube y el para-rayos, deben precipitarse hácia este con una gran rapidéz, perder en él la electricidad que les habia comunicado la nube, y cargase fuertemente de otra de contraria naturaleza; despues, huyendo de la punta que las rechaza se dirigirán de nuevo hácia la nube, y neutralizarán todas las partículas de esta que encuentren á su paso, hasta tanto que por este movimiento alternativo quede completamente descargada. Asi que, en general, esta descarga se verificará sin esplosion, y todos los cuerpos conductores que se hallen bajo el para-rayos á corta distancia quedarán preservados por este. Pero aun si en un caso estraordinario no bastase esta rápida salida de electricidad, y se produgese una esplosion, se dirigirá esta infaliblemente á la punta del para-rayos, que es donde es incomparablemente mas fuerte la atraccion recíproca de las dos electricidades, y en este punto la esperiencia ha confirmado completamente la teoría. A poco tiempo de haberse puesto en uso esta invencion se presentó á la academia de ciencias la punta de un para-rayos que habia recibido una esplosion tan fuerte que la habia fundido, como nuestras baterías funden los arambres delgados de hierro. Sin embargo, esta esplosion tan terrible que hubiera causado infaliblemente las mayores desgracias en la casa en que cayó, no hizo esperimentar la mas ligera conmocion, y solo se notó por el espantoso ruido que produjo.

Se puede presentar una imágen sensible del efecto de los para-rayos sobre las nubes electrizadas por medio de una esperiencia muy sencilla. Se cuelga de los conductores de una máquina eléctrica un hilo de lino, á cuyo estremo inferior se ata un velloncito de algodon cardado, que puede representarnos bastante bien una nube. Se electriza todo el aparato, y se presenta al algodon, no una punta, sino un cuerpo esférico, y al momento es atraido, y se produce una chispa eléctrica entre los dos cuerpos. Pero si en vez

de esta esfera se presenta al algodon una punta, manteniéndola á bastante distancia, se descarga de su eletricidad invisiblemente, se dirige hácia los conductores para cargarse, y vuelve otra vez hácia la punta para descargarse de nuevo. Se pueden colgar de este modo muchos velloncitos de algodon, de hilos de distintos tamaños, y se les ve replegarse sucesivamente unos sobre otros. Del mismo modo exactamente, las partes inferiores de una nube que han quedado descargadas por la influencia del para-rayos, deben replegarse hácia las partes superiores que aun se hallan electrizadas.

Siendo incontestable el efecto y la utilidad de los para-rayos, conviene decidir cuál es la construccion mas ventajosa que puede dárseles. Dos condiciones sobre todo parecen indispensablemente necesarias: que esté bien establecida la comunicacion con el suelo, y entre las diferentes barras metálicas de que se compone el aparato. Pueden verse en el tratado general las precauciones mas seguras que deben tomarse para obtener estas dos condiciones.

Si estas condiciones estan observadas exactamente, la teoría y la esperiencia manifiestan de acuerdo que la vecindad, y aun el contacto con el para-rayos no es nada peligroso, porque la descarga eléctrica elige siempre los mejores conductores. Asi es que atravesando un paquete de pólvora por un arambre de hierro, se pueden comunicar sin peligro por medio de este hilo todas las descargas eléctricas que no sean capaces de fundirle. Del mismo modo, cuélguese un pájaro de uno de los conductores de la máquina, cárguese la batería, y descárguese en seguida; el pájaro no sentirá ningun efecto, sin embargo de que se halla al paso de la electricidad. En fin, rodeándose el cuerpo con un cordon metálico, cuyos estremos se tengan en las manos, se pueden descargar por este cordon las baterías mas fuertes sin sufrir ningun daño, aislándose como el pájaro en el arco de comunicacion.

En estas esperiencias suele esperimentarse algunas veces una ligera conmocion instantánea, pero incomparablemente mas débil que la descarga de la batería. Esta conmocion proviene de que la electricidad acumulada en la batería no produce su descarga en un solo instante indivisible por bueno que sea el conductor que se la presente; mientras su paso obra por influencia sobre las electricidades naturales de los cuerpos que tocan á este conductor, y produce en ellas una separacion que no dura mas que un momento; el equilibrio se restablece inmediatamente; pero la alternativa instantánea de estos dos estados produce una conmocion en los órganos en que se verifica. Esto mismo nos hace ver que su efecto debe ser sumamente débil; pues solo es producido por la influencia de la parte de electricidad que queda libre en una de las superficies de la batería, y cuya fuerza repulsiva, aunque muy debilitada por su estension sobre el conductor que se la presenta, no está destruida enteramente.

Para manifestar con evidencia estos resultados, se aisla un conductor cilíndrico, y se le hace tocar á las superficies de una batería que comunica con el suelo. En frente de uno de los estremos de este conductor se coloca otro tambien aislado, pero separado del primero por una corta distancia, fig. 41: en el momento de la descarga pasa una chispa de un conductor á otro, y un electróscopo colocado sobre el segundo se eleva y baja en un instante. Si se hace terminar este segundo conductor en una pistola de Volta, que comunique por el otro estremo con el suelo, la descarga lateral inflamará el gas.

El único peligro, pues, que pueden ofrecer los para-rayos provendrá de este choque lateral, que puede disminuirse, por decirlo asi, cuanto se quiera aumentado las dimensiones y la facultad conductriz del cuerpo por donde se hace pasar la electricidad. La teoría y la esperiencia acaban de demostrarnos que este choque es incomparablemente menor que

la descarga directa; si alguna vez, pues, llegase á ser sensible en la caida de un rayo ¿cuál hubiera sido la descarga directa sino hubiese hallado aquel conductor metálico para transmitirla á la tierra?

Algunas veces se ha visto en los momentos de tempestad, caer muertos de repente hombres y animales en el momento de una esplosion, aun cuando el rayo haya caido á una gran distancia de donde se hallaban. Este fenómeno se puede esplicar fácilmente por las consideraciones que acabamos de establecer.

Supongamos una nube fuertemente electrizada, cuyos dos estremos estan pendientes hácia la tierra; rechazarán la electricidad de la misma naturaleza que la suya, y atraerán la opuesta. Si por una circunstancia cualquiera llega á verificarse en uno de los estremos de la nube, el equilibrio se restablecerá al instante en el punto de la tierra que se halla debajo del otro estremo; y este restablecimiento de equilibrio podrá ocasionar la muerte de los animales ó de los hombres que la sufran, sobre todo si la electricidad es bastante fuerte. Esto es lo que se llama *choque por reaccion.*

La esperiencia siguiente puede dar una idea bastante exacta de él. Cuélguese de un cordon de seda una rana viva á alguna distancia del conductor de una máquina eléctrica, como representa la fig. 42; átese á una de sus piernas un cordon metálico muy ligero y flexible, que la haga comunicar con el suelo; hágase en seguida obrar la máquina, y á medida que se desenvuelve la electricidad, sáquense de cuando en cuando chispas del primer conductor, presentándole una vara metálica terminada en hemisferio. A cada esplosion se verá conmoverse la rana, á pesar de no hallarse en el arco de comunicacion, porque sus electricidades naturales, separadas por la influencia del conductor eléctrico, se reunen súbitamente cada vez que se destruye esta influencia; y escitan una conmocion en los órganos del animal.

Estos mismos efectos se observan aun despues de la muerte; mas para verlos entonces con toda su energía, es preciso matar la rana de repente, cortándola por medio del cuerpo, desollándola en seguida, y preparándola, como representa la fig. 43. Entonces su irritabilidad es tal, que la influencia de una fuerte máquina produce conmociones musculares á la distancia de 10 ó 12 metros. Este fenómeno, sencillo en sí mismo, manifiesta que los órganos musculares de las ranas son electróscopos de una estrema sensibilidad; y en uno de los capítulos siguientes veremos que esta susceptibilidad ha sido la causa accidental de uno de los mas bellos descubrimientos que se han hecho en la física.

Hasta aquí solo hemos estudiado la electricidad de la atmósfera en el estado pasagero y violento en que se encuentra durante las tempestades; pero aumentando la sensibilidad del aparato que sirve para manifestarla, se puede esperar hacerla sensible, aun en los momentos en que parece ser nula observándola con instrumentos menos perfectos. Para esto se ha pensado armar el electróscopo de pajas ó láminas de oro, y de una varilla metálica terminada en punta, que se atornilla por su parte inferior al estremo de la espiga. Ordinariamente se da á esta vara un metro de longitud, componiéndola de muchas piezas que encajan unas en otras, para poder variar esta longitud segun se quiera. Por medio de este instrumento, fig 44, se reconoce que la atmósfera, cuando está pura, se halla en un estado habitual de electricidad vítrea; pero las mas pequeñas nubes ó nieblas bastan para modificar este estado.

La intensidad de esta electricidad habitual aumenta á medida que es mayor la elevacion en la atmósfera; y asi, para hacerla mas sensible, ha pensado Mr. Saussure arrojar al aire una bola pesada unida á un hilo metálico muy fino, cuyo estremo inferior, enroscado á la espiga del electróscopo, queda unido á ella por su mismo resorte. Cuando el hilo se

desplega por el movimiento de la bola, da al electróscopo la misma especie de electricidad que tiene la capa atmosférica mas elevada á donde llega esta bola; pero con la continuacion de este movimiento, el hilo llega á separarse de la espiga del electróscopo, y esta queda aislada con la electricidad que ha adquirido.

Las esperiencias que pueden hacerse sobre la electricidad atmosférica, presentan, en general, la circunstancia singular de un medio indefinido como es el aire, cuyas moléculas se hallan todas cargadas de un esceso de electricidad de la misma naturaleza, que se adhiere á su superficie; de suerte, que la masa entera del fluido se halla penetrada por la electricidad, en una proporcion que varia segun las alturas. Las diferentes partículas del aire no pueden hallarse en reposo sino por la mútua compensacion de sus fuerzas repulsivas, combinadas con su gravedad; aplicándose tambien la misma condicion á los cuerpos conductores que se hallan sumergidos en él. Asi que, respecto á todos estos cuerpos, el equilibrio eléctrico no se verificará cuando sus electricidades naturales se hallen completamente neutralizadas, sino cuando posean el esceso de una ú otra electricidad que corresponda á la capa en que se hallan, que es siempre vítrea en la atmósfera estando pura. Si poseen un esceso aun mayor de esta electricidad, obrarán unas sobre otras, y sobre todas las moléculas de aire que las rodean, únicamente en virtud de este esceso; y por tanto deberán repelerse mútuamente. Si por el contrario, el esceso de electricidad que poseen es menor del que naturalmente tomarian en la capa en que se les coloca, la masa del medio obrará sobre cada una de ellas en virtud de esta diferencia, y sus electricidades naturales se descompondrán lo necesario para completar la electricidad que les falta; en virtud de esta adicion rechazarán el medio tanto como este las rechaza, y no sufrirán ninguna accion de su parte. Pero obra-

rán unas sobre otras con el esceso que han adquirido de electricidad contraria; y si el medio es un fluido indefinido, compuesto de partículas capaces de electrizarse por contacto, este esceso se disipará poco á poco en el espacio. Pudieran hacerse muchas esperiencias curiosas para comprobar las leyes del fluido eléctrico en circunstancias diferentes de aquellas en las que se le considera generalmente.

CAPITULO XIII.

De la luz eléctrica.

La luz que se desenvuelve en las esplosiones eléctricas ha pasado por mucho tiempo á los ojos de los físicos como una modificacion de la misma electricidad, que poseía la facultad de hacerse luminosa, llegando á cierto grado de acumulacion. Pero hace algunos años que la observacion de la luz, que se separa del aire por una presion mecánica, me ha hecho pensar que la luz eléctrica podria tener una causa semejante, y ser solo efecto de la compresion, producida en el aire por la esplosion de la electricidad (1). Una discusion profunda sobre las esperiencias hace esto muy probable, como puede verse en el tratado general. Segun es mas ó menos denso el aire que comprime el choque eléctrico, ó segun es mas ó menos enérgica la descarga, produce diferentes claridades, que varían desde el violado hasta el blanco mas resplandeciente. Este efecto se produce en el vacío de las máquinas neumáticas, y aun en el vacío de los barómetros; pero tal vacío no es otra cosa mas que un espacio en que hay vapores de agua ó de mercurio, que como todos los demas, pueden producir calor siendo comprimidos con una fuerza suficiente.

La electricidad desenvuelta produce aun otros dos

(1) Anales de Química, tomo 53, pag. 321. 1805.

efectos, que se han querido mirar tambien como dos caractéres fisicos. El primero es la sensacion que producen los cuerpos electrizados acercándolos á una parte desnuda de la piel, semejante al contacto de una tela de araña; el segundo el olor distinto y sensible de fósforo que producen las puntas electrizadas al aproximarlas á los órganos del olfato. Pero las conmociones dadas por la botella de Leyden y las baterías eléctricas prueban que la electricidad puesta en movimiento sacude con violencia los órganos, y escita en ellos contracciones musculares muy enérgicas; mas adelante veremos aun otros ejemplos de esta facultad. Cuando un conductor electrizado se presenta delante de una parte cualquiera de nuestro cuerpo se verifica en ella una descomposicion de las electricidades naturales; y la que es de naturaleza contraria á la del conductor se condensa en la superficie mas inmediata á él; este movimiento interior, la salida de esta electricidad, ó la introduccion de la que viene de fuera, ¿no han de producir en nosotros alguna sensacion? El solo contacto del aire que se renueva y electriza sobre las partes de nuestra piel en que se halla libre la electricidad, ¿no debe tambien escitar en ellas alguna conmocion? Luego si esto es asi, no hay razon ninguna para imaginar causas particulares que puedan producir estos efectos; y por consiguiente no hay ninguna probabilidad para creer las propiedades físicas unidas á la naturaleza de la electricidad. Variando la marcha y las escintilaciones de la luz eléctrica, se ha hecho uso de ella en muchos juegos interesantes.

CAPITULO XIV.

Del desenrrollo de la electricidad por el simple contacto.

Pasemos ahora á examinar el desenrrollo de la electricidad por el simple contacto; parte de la física creada pocos años hace, y que nos ofrecerá el contraste de un gran descubrimiento debido á la casualidad, y de otro aun mayor, obtenido directamente, y conducido á su último término por las inducciones y las esperiencias mas rigurosas.

Presentáronse las primeras esperiencias de esta clase hácia el año 1789. Galvani, profesor de física en Bolonia, hacia investigaciones sobre la escitabilidad de los órganos musculares por el fluido eléctrico, empleando en estas pruebas ranas muertas y desolladas, cuyos nervios lumbares habia descubierto, como representa la fig 45; y ademas, para poderlas manejar fácilmente, habia atravesado por la parte restante E de la columna dorsal un hilo de cobre doblado en forma de gancho. La casualidad hizo que un dia colgase varios cadáveres de ranas por estos ganchos de cobre, de la barandilla de hierro de un terrado; al instante sus pies y piernas se pusieron en convulsion espontánea, repitiéndose el mismo fenómeno cuantas veces se reiteró el contacto. Galvani conoció al momento la importancia de este fenómeno, y trató de determinar sus circunstancias esenciales. Vió desde luego que en vez de tener en la mano la rana se podia colocar sobre una chapa de hierro, y que aplicando sobre esta el corchete de cobre se manifestaban las convulsiones; despues reconoció que todo estaba reducido á establecer por medio de un arco metálico una comunicacion entre los músculos y los nervios de la rana; y últimamente, observó que cuando este arco de comunicacion era de un solo metal, las convulsiones se escitaban tambien, pero eran

muy raras y muy débiles; que para hacerlas fuertes y durables era necesario emplear el contacto de dos metales diferentes, y que verificada esta condicion podia completarse la comunicacion con cualesquiera otras sustancias, con tal que fuesen conductrices de la electricidad. Hizo entrar en la cadena de comunicacion otras partes animales, y aun personas vivas agarradas por las manos, y las convulsiones se manifestaron igualmente. Galvani creyó ver en estos hechos el desenrollo de lo que él llamaba una *electricidad animal* existente en los músculos y en los nervios, y cuya circulacion se verificaba poniendo en comunicacion estas partes por medio de un arco metálico, ó en general, de buenos conductores de la electricidad.

Luego que fueron conocidos en Italia estos nuevos fenómenos escitaron una admiracion general, y todos concibieron las mismas ideas que Galvani; pero apenas repitió Volta las esperiencias cuando reconoció en ellas indicaciones enteramente distintas. Viendo que las convulsiones no se obtenian sino muy débilmente con un arco compuesto de un solo metal, y únicamente cuando estaba aun muy viva la irritabilidad, en tanto que se reproducian seguramente y por mucho mas tiempo con un arco compuesto de metales heterogéneos, dedujo que el principio de escitacion residia en los metales; y como este principio debia ser necesariamente de naturaleza eléctrica, pues su comunicacion se cortaba con cualquiera sustancia aisladora, llegó á pensar que el solo contacto de dos metales distintos debia producir una débil electricidad, que comunicándose á los órganos de la rana cuando se completaba la cadena, producia en estos órganos, eminentemente irritables, las convulsiones que Galvani habia observado.

Probando, pues, la aplicacion de diferentes metales, reconoció Volta que el mejor escitador era el zinc puesto en contacto con el cobre ó la plata; aunque los mismos fenómenos podian producirse con

un arco heterogéneo compuesto de dos metales diferentes.

Segun el conjunto de todas estas observaciones, la mejor preparacion para repetir la esperiencia de Galvani, es la siguiente: tómese una rana, y despues de haberla partido por medio del cuerpo mas abajo de los brazos, quítese la carne y todas las partes que cubren los nervios lumbales N N, fig. 46, y córtese la columna dorsal, de modo que las piernas y muslos queden pendientes solo de estos nervios. Envuélvanse entonces con una hojita de cobre ó de zinc; colóquese la rana preparada de este modo sobre un cuerpo aislador, por ejemplo, una lámina de vidrio; y tomando un pedazo de otro metal cualquiera, doblado en forma de arco; póngase una de sus puntas sobre la armadura de los nervios, y la otra sobre los músculos de los muslos; al punto se manifestarán las convulsiones, no solo en el muslo y pierna que se haya tocado sino igualmente en la otra. Estas convulsiones cesan algun tiempo despues de la muerte, y tanto mas pronto, cuanto mas se hayan escitado; mas en el primer momento de su debilidad se pueden reanimar aplicándoles todos los escitantes que exaltan la irritabilidad animal; lo mismo que sucede con las convulsiones producidas en los órganos de una rana por la influencia á distancia de la electricidad ordinaria.

Volta hizo renacer tambien otra esperiencia, que se halla en una obra antigua, titulada *teoría del placer*, y que es muy á propósito para manifestar la influencia del contacto de los metales heterogéneos sobre los órganos animales. Se toman dos piezas de distintos metales, siendo lo mejor que una sea de zinc y la otra de cobre; se coloca una de estas piezas encima y otra debajo de la lengua, de modo que salgan un poco mas afuera que esta. Mientras las piezas no se tocan, ninguna sensacion particular se esperimenta; pero luego que se ponen en contacto se escita un sabor enteramente análogo al

del sulfate de hierro. En este caso, segun Volta, la electricidad se desenvuelve por el contacto de las dos piezas, y la superficie de la lengua, cubierta de partes nerviosas estremamente sensibles, la sirve de conductor. Algunas veces se comunica á otros nervios la escitacion; y si la esperiencia se hace en la obscuridad se ve pasar súbitamente por los ojos una especie de relámpago.

Galvani trató de sostener su opinion de una electricidad animal contra el profesor de Pavía; le objetó las convulsiones producidas por un arco de un solo metal, y se dedicó á variar sus circunstancias. Por ejemplo, si despues de preparar prontamente una rana como acabamos de decir se la arroja en un baño de mercurio bien limpio, de modo que le toque por sus nervios y sus músculos, ordinariamente se manifiestan las convulsiones. Volta respondió que aun en esta circunstancia podia haber alguna heterogeneidad entre las diferentes partes del arco conductor, ya en la misma superficie del mercurio, y ya por los metales de que se ha hecho uso para preparar el animal. En efecto, las menores diferencias en las sustancias empleadas para formar la cadena bastan para escitar convulsiones que antes no se producian. Por ejemplo, si se cubren los nervios de la rana con una lámina de cobre impuro, como el que usan los vidrieros, y se acaba de completar la comunicacion con un arco del mismo metal, tomado de la misma hoja, y por consiguiente de una naturaleza exactamente igual, rara vez produce efecto; pero si se establece la comunicacion por medio de plomo purificado, quedando la misma la armadura de los nervios, al momento se manifiestan las convulsiones; y aun basta frotar el arco de un solo metal con otro metal diferente para darle la heterogeneidad necesaria, como ha demostrado Mr. Hallé. Sin embargo, Galvani no cedió á estas observaciones, y llevó su precaucion hasta preparar los órganos de la rana con láminas de vidrio afiladas

como cuchillos, y de este modo obtuvo aun convulsiones por un arco de un solo metal; pero únicamente en los casos que hemos señalado, es decir, cuando la irritabilidad estaba aun muy viva. En fin, despues de haber preparado la rana con todas estas precauciones, consiguió producir contracciones por el simple contacto de los músculos y nervios del animal, sin emplear ninguna otra sustancia para completar el arco conductor. Pero si como dice Volta, y veremos muy pronto, se desenrolla electricidad por el simple contacto de dos metales, es posible que igualmente se desenvuelva por el contacto de dos sustancias heterogéneas cualesquiera, como los músculos y los nervios; solo que, si esta accion es mucho mas débil que la de un metal sobre otro, será preciso emplear un electróscopo de una susceptibilidad aun mas viva, tal como parecen ser los mismos órganos de la rana en los primeros instantes despues de muerta. El nuevo hecho observado por Galvani, aunque sumamente digno de atencion, solo conduce á generalizar la idea de Volta lejos de destruirla.

Trátase ahora de establecer esta idea por la esperiencia. Para ello emplea Volta dos discos metálicos, uno de zinc y otro de cobre, de cinco ó seis centímetros de diámetro, bien planos, descubiertos, y aislados en su centro por varillas perpendiculares á su superficie, por cuyo medio se pueden poner en contacto sin tocarlos inmediatamente. Se acercan asi estos discos hasta que se toquen, y en seguida se separan retirándolos paralelamente, fig. 47. Como la electricidad que se desenvuelve en ellos por un solo contacto es sumamente débil no se aplica inmediatamente al electróscopo: se arma este de su condensadorcito, en el cual se acumula la electricidad de muchos contactos, haciendo comunicar el platillo superior con el suelo, y tocando el platillo inferior que comunica con las pajas, con el disco metálico, cuya electricidad quiere probarse. Hecho esto, se re-

tira el disco, y se toca como tambien al otro, para poner ambos en el estado natural, se colocan de nuevo aislados y en contacto; se separan, y se presenta al condensador el mismo que antes. Despues de siete ú ocho contactos de este género se quita el disco superior del condensador, y las pajas se separan en virtud de la electricidad reunida en el disco inferior por los contactos sucesivos del disco metálico, pudiéndose de este modo reconocer y esperimentar la naturaleza de esta electricidad.

Supongamos que los dos discos sean de cobre y de zinc: si es el de cobre el que ha tocado al platillo inferior del electróscopo, la electricidad que hace separar las pajas es resinosa: si es el de zinc es vítrea. Asi, estos dos metales aislados y en su estado natural, se ponen por el simple contacto en diferentes estados eléctricos; el zinc adquiere un esceso de electricidad vítrea, y el cobre el esceso complementario de electricidad resinosa.

Tambien se puede verificar la esperiencia de otro modo, no haciendo comunicar con el suelo ninguno de los dos platillos del condensador, sino dejándolos aislados sobre el electróscopo. En este caso, al separar los dos discos metálicos, se toca con cada uno de ellos uno de los platillos del condensador, cuidando de que sea siempre el mismo: como las electricidades libres que contienen son de naturaleza opuesta, se atraerán mútuamente, y se fijarán sobre las superficies contiguas de los platillos. Despues de algunos de estos contactos se separan los platillos, y cada uno de ellos se halla cargado de la electricidad que corresponde al metal que le ha tocado.

Pudiera creerse que la electricidad que se desenrolla en esta circunstancia proviene de una especie de compresion de los platillos entre sí, como la que se desenvuelve comprimiendo algunos tafetanes engomados con un disco metálico, segun ha observado Mr. Libes; pero es fácil probar que la

accion desenvuelta por el contacto de los metales es de otra especie, y escitada por una influencia recíproca, que descompone sus electricidades naturales. Para establecer este hecho capital, Volta hace la siguiente esperiencia. Forma una lámina metálica de dos pedazos C, Z, fig. 48, uno de zinc y otro de cobre, soldados por sus estremos: despues, tomando entre los dedos la parte de zinc toca con el otro estremo, que es de cobre, el platillo superior de un condensador, que tambien es de cobre, y cuyo platillo inferior comunica con el suelo. Despues del contacto levanta el platillo que ha tocado, y se halla electrizado resinosamente. Esto está en todo conforme con las esperiencias anteriores; solo que aqui no puede temerse el efecto de una presion ó de una separacion entre las moléculas del zinc y las del cobre, puesto que se halla establecida su justa posicion de un modo permanente, y el contacto sobre el condensador se verifica entre cobre y cobre; lo cual no puede desenrollar ninguna nueva electricidad. Para que la que se produce de este modo en un solo contacto sea bastante sensible, es preciso que el condensador sea mucho mas ancho que el electróscopo, y que sea considerable su fuerza condensante.

Tambien se obtienen efectos semejantes sin tocar la lámina de zinc con los dedos, y cojiéndola con varillas de vidrio ó cualquiera otra sustancia aisladora; pero como entonces la lámina no comunica con el suelo, es preciso ponerla en contacto con algun cuerpo de mucha capacidad, de donde pueda tomar la electricidad que ha de comunicar al disco colector del condensador; lo cual se consigue, ya dando una grande estension á la superficie de la lámina de zinc, ó ya haciéndola comunicar con el interior de una gran botella de Leyden, cubierta por dentro con una hoja de zinc, y por fuera con otro metal cualquiera que comunique con el suelo.

Hecha esta prueba se repite en sentido inverso, tomando entre los dedos la parte de lámina que es de cobre, y tocando con la de zinc el disco superior del condensador, que como hemos dicho es de cobre, fig. 49. Cuando se destruye el contacto y se levanta el platillo tocado, se ve que no ha adquirido ninguna electricidad, aunque el platillo inferior comunica con el depósito comun. Sin embargo, en esta esperiencia, el cobre y el zinc se tocan y comunican del mismo modo que en la primera, sin mas diferencia que entonces los dos pedazos de cobre que comunicaban con el zinc estaban situados á un estremo, y en la segunda esperiencia se hallan á los dos lados del zinc. La causa, cualquiera que sea, que desenvuelve la electricidad, obra, pues, como una fuerza atractiva ó repulsiva del zinc sobre el cobre, y de este sobre aquel. En la primera esperiencia, en que las dos piezas de cobre se hallan al mismo lado del zinc, esta fuerza puede obrar, y la electricidad que desenvuelve se esparce sobre el platillo de cobre del condensador; pero en la segunda, en que el zinc se halla entre los dos cobres, la accion electromotriz, cualquiera que sea su naturaleza, obra igualmente de una y otra parte del zinc, y asi no puede desenrollar ninguna electricidad.

Los metales y un gran número de sustancias no metálicas obran asi sobre sus electricidades naturales cuando se ponen en contacto unas con otras; y es muy verosímil que esta propiedad se estienda, aunque en diversos grados, á todos los cuerpos de la naturaleza. Entre las combinaciones que se pueden hacer con ellos habrá algunas en que será mas enérgico el desenrollo de la electricidad, y otras en que será mas débil, y acaso insensible. En la primera clase se hallan los metales heterogéneos puestos en contacto unos con otros; y en la segunda el agua pura, las disoluciones salinas y aun los ácidos líquidos puestos en contacto, ya entre sí, ya con los metales.

Para comprobar esta propiedad, tomemos un tubo de vidrio abierto por ambos estremos, y cerremos uno de ellos con un tapon de cobre, terminado á la parte inferior por una varilla de metal que salga fuera, como representa la fig. 50. Llenemos el tubo con uno de los líquidos de que acabamos de hablar, y tendremos un todo exactamente parecido al de las láminas de zinc y cobre soldadas por sus estremos; pero la propiedad electromotriz será incomparablemente mas débil. Si la probamos del mismo modo, colocando la varilla de cobre sobre el platillo del condensador, como hemos hecho en la esperiencia precedente, no tomará el platillo ninguna cantidad apreciable de electricidad, por mas que se repita el contacto; lo cual sucederia del mismo modo, aunque el líquido contenido en el tubo obrase sobre el tapon químicamente con una grande energía, á menos que no se empleasen masas enormes de líquido y de metal, obrando violentamente una sobre otra, pues en este caso, se sabe que la combinacion química de dos sustancias desenvuelve electricidad, como han observado los señores Lavoisier y Laplace, haciendo disolver algunos kilógramos de limaduras de hierro en ácido sulfúrico. Pero es evidente que la electricidad desenrollada en esta circunstancia es absolutamente distinta del fenómeno producido por el contacto de los metales, ó en general de las sustancias heterogéneas, pues en este caso las mas pequeñas cantidades de estas sustancias soldadas entre sí, sin producir una en otra ninguna alteracion sensible, ejercen igual poder que las mayores masas. En fin, lo que determina una diferencia muy decisiva es que repitiendo la misma esperiencia con diferentes masas del mismo órden por medio del aparatito que acabamos de describir, se hallará que el contacto inmediato de los metales y de los líquidos conductores produce una fuerza electromotriz absolutamente inapreciable.

Pero por la misma razon pueden servir estos lí-

quidos para comunicar la accion recíproca del cobre y del zinc, sin debilitarla por su contacto. Asi, en la segunda esperiencia, fig. 49, en que el zinc se halla entre las dos partes de cobre, hemos visto que las fuerzas electromotrices ejercidas sobre el zinc eran iguales y contrarias, el desenrollo de electricidad nulo, y que el condensador no llegaba á cargarse; pero se cargará indudablemente si entre el zinc y el disco colector, que es de cobre, se interpone una capa de un líquido conductor, por ejemplo, una gota de agua ó un papel humedecido con una disolucion salina. Este cuerpo intermedio basta para impedir la accion electromotriz del platillo sobre el zinc, que no se manifiesta sino en el contacto, sin que pueda reemplazar esta accion, porque su fuerza electromotriz es muy débil é insensible; pero en virtud de su facultad conductriz puede comunicar la electricidad del zinc si este llega á adquirirla en mayor cantidad que la que tiene naturalmente. Mas el zinc se halla en este caso en una posicion muy á propósito para que se verifique este desenrollo, pues se encuentra colocado entre dos cuerpos que le tocan; uno de los cuales, á saber, el cobre, ejerce sobre él una accion electromotriz sensible; y el otro, que es el líquido, solo ejerce una infinitamente débil. El desenrollo de electricidad podrá, pues, verificarse tan bien, como si el zinc estuviese aislado en el aire; y ademas, á causa del conductor húmedo resultará que este y el platillo del condensador, á quien está tocando, participarán del esceso de electricidad del zinc, hasta tanto que adquieran una fuerza repulsiva igual á la suya; que es lo que la esperiencia confirma exactamente.

Por lo mismo, si se sueldan juntas dos láminas circulares, una de zinc y otra de cobre, y colocando esta pieza sobre la mano por el lado del cobre se cubre el zinc con un conductor húmedo cuya fuerza electromotriz sea insensible, por ejemplo, un círculo de paño empapado en agua ó en una disolu-

cion salina, todos los cuerpos conductores que se coloquen sobre este sistema, participarán del esceso de electricidad vítrea de la cara de zinc y del cuerpo húmedo que la cubre. Luego si sobre este sistema se coloca otro semejante, de modo que su cara de cobre se halle en contacto con el cuerpo húmedo, este segundo sistema participará como cuerpo conductor del esceso de electricidad vítrea de la primera cara de zinc; y ademas la segunda pieza de zinc adquirirá un nuevo esceso de electricidad igualmente vítrea, producida por la fuerza electromotriz del cobre á que se halla soldada. Añadiendo asi sucesivamente muchos sistemas semejantes unos sobre otros, se formará un aparato en que el estado eléctrico de las piezas sucesivas irá aumentando de abajo arriba, segun el número de piezas sobrepuestas.

Tal es el admirable instrumento generalmente conocido con el nombre de *pila voltáica*, del que la física y la química han sacado tan grandes resultados. Para concebir bien sus efectos es necesario haber analizado de un modo exacto el estado eléctrico en que se ponen las diferentes piezas que le constituyen, asi como las alteraciones que pueden resultar poniendo algunas de estas en comunicacion con el suelo ó con un condensador.

CAPITULO XV.

Teoría del aparato electromotor, suponiendo perfecta su conductibilidad.

Consideremos una sola pieza, formada por una lámina de zinc, soldada con otra de cobre de iguales dimensiones, y pongamos la cara de cobre en comunicacion con el suelo. Esta cara se hallará entonces en su estado natural; pero la de zinc se cubrirá de una capa de electricidad libre, vítrea, cuya cantidad total representaremos por $+1$. El valor absoluto de esta cantidad dependerá de la es-

tension de las láminas, y será proporcional á su superficie.

Comunicando siempre con el suelo la cara de cobre, coloquemos sobre la cara de zinc un círculo de paño empapado en agua salada ó en otro líquido conductor cuya accion electromotriz sea insensible: en este caso la electricidad libre de la cara de zinc se esparcirá sobre la superficie de este conductor; y como es indispensable que el zinc tenga el esceso de electricidad vítrea que exije su contacto con el cobre, la tomará de este, y este del suelo. Todo esto no es mas que un sencillo resumen de las esperiencias esplicadas en el capítulo anterior.

Estando las cosas en este estado, se toma una nueva pieza de cobre y zinc exactamente igual á la primera; se aisla, despues de haberla tocado por la cara de cobre, y se coloca esta sobre el círculo húmedo, como representa la fig. 51. Entonces, segun Volta, se verifican dos acciones: 1.ª la cara de zinc de esta pieza conserva el esceso de electricidad vítrea + 1 que recibe de su contacto con el cobre; y 2.ª el sistema entero de la pieza participa la electricidad libre del círculo húmedo como cualquier otro cuerpo conductor. El círculo húmedo vuelve á tomar esta electricidad del zinc, este del cobre, y el cobre del suelo; de manera, que al cabo de un tiempo infinitamente pequeño, si la conductibilidad es perfecta se establece un estado eléctrico estable, en el cual las cantidades de electricidad libre son las que representa la tabla siguiente:

Pieza superior.	Cara de zinc Z_2 soldada á C_2.	+ 2
	Cara de cobre C_2 que comunica con el círculo húmedo.	+ 1
Pieza inferior.	Cara de zinc Z_1 soldada á C_1.	+ 1
	Cara de cobre C_1 que comunica con el suelo.	0

Coloquemos sobre este sistema otro segundo círculo húmedo y otra nueva pieza de cobre y zinc, fig. 52. La cara de zinc de esta pieza conservará el

esceso de electricidad vítrea + 1 que adquiere por su contacto con el cobre, y ademas participará como cuerpo conductor de la electricidád libre de las piezas inferiores que se reemplazará por la del suelo; y cuando haya llegado á fijarse este estado eléctrico se tendrá:

Pieza 3.	Cara de zinc Z_3 soldada á C_3.	+ 3
	Cara de cobre C_3 que comunica con el círculo húmedo r_2.	+ 2
Pieza 2.	Cara de zinc Z_2 soldada á C_2.	+ 2
	Cara de cobre C_2 que comunica con el círculo húmedo r_1.	+ 1
Pieza 1.	Cara de zinc Z_1 soldada á C_1. . . .	+ 1
	Cara de cobre C_1 que comunica con el suelo.	0

Continuando siempre del mismo modo la superposicion de las piezas, las cantidades de electricidad vítrea libre creceran de abajo arriba en una progresion aritmética.

Esta teoría supone que la transmision de la electricidad se verifica por medio de los círculos húmedos, sin esperimentar ninguna pérdida, como sucederia en el caso de una conductibilidad perfecta; y que ademas los líquidos interpuestos entre los elementos metálicos no ejercen sobre ellos sino una accion electromotriz nula, ó tan pequeña que puede despreciarse. En fin, para pasar de un elemento á otro se introduce un tercer dato, á saber, que el esceso de electricidad + 1 que el zinc toma del cobre es constante respecto á los dos metales, bien se hallen en el estado natural ó no. Esta última suposicion es la mas sencilla que puede hacerse; pero sin embargo, no es mas que una suposicion de que no nos presentan ninguna prueba las esperiencias fundamentales esplicadas mas arriba. He oido decir á Coulomb que habia comprobado esta ley, y que le habia parecido exacta. Es claro que no puede establecerse con exactitud, sino por medio de la balanza eléctrica, midiendo las cantidades de electrici-

dad libre, que se hallan á diferentes alturas de una misma pila; pero esta observacion está modificada por la imperfecta conductibilidad de los conductores húmedos, y por otras varias causas que examinaremos en uno de los capítulos siguientes. Como quiera que sea, admitamos la equidiferencia de que se trata, como la ley mas simple que puede imaginarse, y tratemos de desenvolver sus consecuencias por medio del cálculo.

Desde luego, si se toca con una mano la base de la pila y con la otra su parte superior, todos los escesos de electricidad + 1, + 2, + 3 &c. de las diversas piezas, se descargarán atravesando el cuerpo en el depósito comun; y suponiendo la transmision de la electricidad por el interior de la pila perfectamente libre, ó por lo menos muy rápida en comparacion de su transmision por el cuerpo, esta descarga deberá producir una conmocion como la de la botella de Leyden, pero con la diferencia esencial de que la sensacion parecerá contínua; porque volviéndose á cargar la pila á costa del suelo con mucha mayor velocidad que los órganos pueden descargarla, la pieza superior se halla casi siempre tan cargada como antes del contacto. La esperiencia comprueba exactamente estas observaciones. De este mismo modo pueden tambien reproducirse con una intensidad infinitamente mayor los fenómenos de sabor y de luz, que hemos visto en un par de piezas.

Si se quiere conocer en este caso la cantidad de electricidad que forma la descarga en cada contacto, no hay mas que sumar las cantidades de electricidad, que segun las determinaciones anteriores, existen en estado de libertad en las diversas partes del aparato; y para simplificar esta valuacion se pueden suponer los círculos húmedos infinitamente delgados, y despreciar la cantidad de electricidad que se dirije á su contorno esterior, en cuyo caso solo habrá que sumar las cantidades esparcidas sobre las

superficies del cobre y del zinc, y esta suma es proporcional al cuadrado del número de piezas. Mas adelante veremos que este resultado se debilita muchísimo por la imperfeccion de los conductores húmedos.

Hemos supuesto formada la pila de este modo: cobre, zinc, húmedo, cobre &c., comunicando con el suelo el primer cobre; pero se puede disponer tambien en sentido contrario, esto es, zinc, cobre, húmedo, zinc &c., estableciendo la comunicacion entre el suelo y el primer zinc. La teoría en este caso será absolutamente la misma, sin mas diferencia que nuestra unidad + 1 se hará negativa, es decir, que las cantidades de electricidad libre serán de naturaleza resinosa.

En vez de colocar las láminas metálicas verticalmente unas sobre otras, se pueden colocar de canto y paralelamente unas á otras sobre cuerpos aisladores, por ejemplo, sobre varillas de vidrio barnizadas. En este caso, en vez de interponer entre ellas pedazos de paño húmedo, que con dificultad podrian mantenerse verticales, se forman de unas á otras pequeños cajoncitos, cuyas paredes forman las mismas piezas, y se vierte en ellos el líquido que ha de servir de conductor, fig. 53. Tambien se pueden soldar juntas dos láminas de cobre y zinc, doblándolas por el punto de union, de manera que cada metal pueda sumerjirse en un vaso de vidrio ó porcelana, lleno en parte de un líquido conductor. Una serie de vasos semejantes forma una cadena electromotriz, fig. 54, cuyos estremos pueden acercarse uno á otro para mayor comodidad en las esperiencias. De cualquier forma que se dispongan estos aparatos, su modo de obrar es exactamente el mismo, y la teoría que acabamos de esplicar les conviene igualmente sin ninguna restriccion.

Apliquemos ahora á la parte superior de la pila, ó en general, á la última lámina del aparato un condensador cuyo disco inferior comunique con el

suelo. Antes del contacto, esta lámina, que supondremos siempre de zinc, tenia la electricidad vítrea libre que convenia á su colocacion en la pila; el condensador la roba una parte que ella vuelve á tomar inmediatamente de la pieza contigua, esta de la otra, y asi sucesivamente hasta la última, que la toma del suelo. Este movimiento debe continuarse hasta tanto que la pieza superior haya adquirido la cantidad de electricidad libre que tenia al principio, y que corresponde á su colocacion en la pila; y por consiguiente el condensador se cargará hasta que su platillo colector tenga la misma tension que esta lámina.

Si la pila estuviese construida en sentido contrario, comunicando el zinc con el suelo, la electricidad de la parte superior seria resinosa, y la carga del condensador seria igual á la anterior en cantidad, pero de contraria naturaleza.

Lo mismo que la electricidad de la columna se acumula en el condensador se acumulará en el interior de una botella de Leyden ó de una batería eléctrica, cuyo esterior comunique con el depósito comun; y como al paso que la pila se descarga se vuelve á cargar á costa de este mismo depósito, la batería se cargará igualmente, cualquiera que sea su capacidad, hasta que la fuerza repulsiva de su electricidad libre equilibre á la de la parte superior de la pila. Si se retira la pila entonces dará la conmocion correspondiente á este grado de fuerza repulsiva, como lo confirma la esperiencia.

Para que la accion del condensador sobre la pila sea regular, constante y lo mas enérgica posible, es preciso tener el mayor cuidado en establecer comunicaciones escelentes entre los platillos y los polos de la pila; porque siendo muy pequeñas las cantidades de electricidad libre, el menor obstáculo basta para detenerlas, ó á lo menos para retardar considerablemente su propagacion, en cuyo caso adquiere el condensador mucha menos electricidad

que adquiriria si las comunicaciones estuviesen libres. Aun es peor cuando es variable el modo de comunicacion, como cuando se tiene el condensador en la mano, contentándose con colocar el boton de su platillo colector sobre la parte superior de la pila. De este modo si se aplica muchas veces seguidas á una misma pila, las cantidades de electricidad que adquiere pueden variar en un instante, hasta ser el triplo ó el cuadruplo una vez que otra, en lugar de que con un modo de comunicacion mas uniforme se obtendria siempre la misma cantidad; lo cual es absolutamente necesario para conocer y medir de una manera exacta el estado eléctrico de la pila.

Despues de muchas tentativas, la disposicion que me ha parecido mas cómoda para este efecto es la siguente. Sobre una mesa sólida se fija por medio de tornillos un paralelipípedo de madera A B, fig. 55, cubierto con una hoja de estaño. En el estremo A de este paralelipípedo hay un cono truncado de metal, bien pulimentado, sobre el cual se coloca la pila: en el otro estremo B hay una varilla metálica, vertical y movible, en la cual se fija con solidez por medio de un tornillo el pie del condensador; con lo cual se puede colocar este instrumento á la altura de la pila que ha de observarse, sin alterar en nada la exactitud de las comunicaciones. Los discos que yo uso son todos de iguales dimensiones, y cada disco de zinc está comprimido contra el de cobre correspondiente, pero no soldado con él, pues asi es siempre perfecto su contacto. No hay mas que poner estas parejas unas sobre otras, y se pueden suponer idénticas cuando son nuevas las láminas; ademas, como estan perfectamente aisladas basta para formar la pila colocar unas sobre otras sin nada que las sostenga lateralmente; lo cual evita la especie de comunicacion que se establece entre los polos de la pila por el aislamiento imperfecto de estos cuerpos con gran perjuicio del aparato.

En fin, para establecer constantemente y del mismo modo el contacto del condensador con la parte superior de la pila coloco sobre esta un vasito de hierro lleno de mercurio bien purificado, y bien limpio el vaso por debajo; el boton del condensador y el estremo de su varilla flexible son tambien de hierro. Asi, cuando se ha colocado el instrumento á la altura de la pila basta introducir el boton en el mercurio por medio de un tubo de vidrio barnizado; y abandonando la varilla á su propia elasticidad se está seguro de obtener un contacto lo mas igual é instantáneo que es posible. Tambien se puede prolongar por mas tiempo si se quiere para ver si el tiempo influye sobre la carga del condensador. Luego que la varilla está fuera del mercurio se levanta el disco colector bien paralelamente á sí mismo, y se le hace tocar á la esfera fija y aislada de la balanza eléctrica. Se coloca esta de nuevo en su caja de vidrio; el disco movible, que supondremos en su estado natural, viene á tocarla, é inmediatamente es rechazado á cierta distancia que se observa, ó bien si se quiere se tuerce el hilo de suspension hasta conducir el disco á una distancia fija de la esfera. Cualquiera de estos medios que se adopte, como el disco se electrizará por el contacto y á costa de la esfera, el ángulo de torsion medirá el *cuadrado* de la cantidad de electricidad comunicada á la esfera por el condensador, y á este por la pila; y se podrá valuar esta cantidad con bastante exactitud. Yo me he convencido de que usando este método se obtienen de una serie de esperiencias resultados perfectamente comparables; lo cual no se consigue descuidando las precauciones que aseguran la perfeccion é identidad del contacto del condensador.

Comparando de este modo entre sí las cargas obtenidas con pilas de un mismo número de piezas, pero con conductores húmedos de diferente naturaleza, se halla que el agua, los ácidos debilitados, la mayor parte de las disoluciones salinas, y en gene-

ral todas las sustancias cuya conductibilidad es enérgica, dan sensiblemente las mismas cantidades de electricidad libre y por un contacto sensiblemente instantáneo. Respecto á la mayor parte de estos conductores se puede aun aumentar ó disminuir indefinidamente la estension de su superficie, sin que resulte en la carga ninguna variacion apreciable, sin duda por causa de la facilidad casi infinita que ofrece su superficie para la transmision de las corrientes eléctricas; pero esto basta para probar, segun la opinion de Volta, que no hacen absolutamente otro oficio en las pilas que el de conductores, y que su contacto ó su accion química no es la causa determinante del desenrollo de la electricidad. Sin embargo, se hallan líquidos, con los cuales las cargas de electricidad son desiguales con un mismo número de piezas; ya sea porque debiliten demasiado la conductibilidad por su interposicion, como diremos mas adelante, ya porque ejerzan una accion electromotriz propia, ó ya por las combinaciones que formen con las demas partes del aparato. Todas estas variedades se han presentado en las numerosas esperiencias hechas por los fisicos al principio de este descubrimiento.

En todas las consideraciones anteriores hemos supuesto que el aparato electromotor comunicaba con el suelo por su base, y podia sacar de él todas las cantidades de electricidad necesarias para el equilibrio de sus partes. Pero si se supone que todas las piezas que componen la columna, esta y el observador se hallasen aislados al tiempo de formarla, no pudiendo estraerse del suelo las cantidades de electricidad necesarias para el equilibrio, la pila las tomaria de sí misma por la descomposicion de las electricidades naturales de sus láminas. El polo zinc tendria, pues, un esceso de electricidad vítrea, compensado por un esceso igual de electricidad resinosa que se hallaria en el polo cobre; y desde estos puntos irian decreciendo las cantidades de electrici-

dad libre hácia el centro de la columna, el cual se hallaria en el estado natural. Es visible, porque de este modo se verifican las condiciones de equidiferencia de una pieza á otra, y que todas conservarian el mismo lugar que les hemos señalado en el aparato sin aislar. Estas consideraciones se hallan confirmadas por la esperiencia, á lo menos en sus resultados generales; porque todas las pilas, aunque se hayan formado en comunicacion con el suelo, toman por sí mismas el estado que acabamos de describir, cuando se las coloca por algun tiempo sobre un aislador; porque como el aire que las rodea las quita gradualmente su electricidad libre no pueden volverse á cargar sino á costa de sí mismas, y los resultados de su descomposicion son los únicos que subsisten, despues que con el tiempo se han disipado las cantidades de electricidad tomadas del suelo. En este estado son muy débiles los signos electroscópicos en los dos polos de la pila, y aun los condensadores mas enérgicos no se cargan en ellos sensiblemente. Este fenómeno es tanto mas digno de atencion, cuanto que no se halla de acuerdo con la teoría del equilibrio por equidiferencia, pues esta teoría indica que la carga del condensador en la pieza aislada debe ser menor que en la pila sin aislar; pero la proporcion que indica está muy lejos de la estrema debilidad que manifiesta la esperiencia.

Reflexionando sobre esta discordancia he llegado á pensar que la accion eléctrica del aparato electromotor tal vez no se debe simplemente á las cantidades de electricidad libre que se presentan en sus elementos, como suponia Volta, sino que acaso existe en ellos al mismo tiempo una gran cantidad de electricidad disimulada; y como esta consideracion haria variar mucho el modo con que debe suponerse que se verifica la accion de la pila, voy á esponerla mas por estenso.

Volvamos á las esperiencias fundamentales de

Volta sobre el desenrollo de la electricidad por el simple contacto de dos metales aislados. ¿Qué es lo que nos manifiestan? Que entonces se hace sensible sobre cada uno de ellos cierta cantidad de electricidad libre y de naturaleza contraria. Pero ¿se sigue de aqui que estas cantidades son las únicas que se desenrollan realmente? No por cierto. La descomposicion de las electricidades naturales de las dos láminas durante el contacto podrá ser enorme, sin producir mas indicios esteriores que los que hemos observado: del mismo modo que las dos superficies de un cristal plano, cubierto de metal, pueden adquirir cantidades muy considerables de electricidad, aunque sean muy pequeñas las partes de esta electricidad que en una y otra superficie gozan de su fuerza repulsiva.

Segun este modo de ver, dos discos de zinc y cobre puestos en contacto se parecerian exactamente á este cristal despues de haberle aislado cuando la accion absorvente del aire ha igualado las fuerzas repulsivas de sus dos superficies; solo que aqui la lámina aisladora de vidrio se hallará sustituida por las fuerzas electromotrices que retendrán las dos electricidades á una y otra parte de la superficie de contacto. Entonces el electróscopo y la balanza no harian sensibles mas que las partes de electricidad que se hallasen libres á los dos lados de esta superficie, y las cantidades totales de electricidad disimulada, no se manifestarian hasta el momento que se estableciese una comunicacion directa entre los discos, como en la botella de Leyden ó el cristal plano electrizado.

El aparato electromotor vendria á ser entonces enteramente análogo á las pilas eléctricas que hemos considerado en el capítulo 10; la disposicion de la electricidad seria exactamente semejante, y se la podrian aplicar la misma teoría y las mismas fórmulas. En efecto, puede observarse que los resultados á que hemos llegado, considerando estas pilas, ofrecen una representacion exacta de los fenómenos eléctri-

cos que produce el aparato electromotor, ya cuando uno de sus polos comunica con el suelo, ya cuando se halla aislado. Este modo de considerarle contribuiria á hacer concebir cómo llega á escitar tan fuertes conmociones, y sobre todo fenómenos químicos que no pueden producirse sino acumulando cantidades considerables de electricidad; ya por medio de baterías, ya por medio de puntas sumamente agudas; pues de esta suerte habria una gran cantidad de electricidad desenvuelta en la accion química del aparato electromotor. En fin, se concebiria por qué aun las pilas mas enérgicas cuando se hallan aisladas por su base no comunican al condensador ninguna cantidad sensible de electricidad, y dan cargas considerables, y aun producen chispas si se hace comunicar instantáneamente uno de sus polos con el suelo. Las cargas que el cálculo indica respecto á estas dos circunstancias tendrian en efecto una estrema desproporcion entre sí, lo que no se verificaba en el primer modo de ver.

CAPITULO XVI.

Efectos químicos del aparato electromotor.

El primer fenómeno que se produjo con la pila, despues de la continuidad de las conmociones eléctricas, fue la descomposicion del agua; debiéndose este descubrimiento á los señores Carlisle y Nicholson. Si se adaptan á los dos polos del aparato electromotor hilos de platina que entren en un mismo vaso de vidrio con agua, se ve desprenderse del hilo que comunica con el polo vítreo una corriente contínua de gas oxígeno, y del que comunica con el polo resinoso una corriente igual de gas hidrógeno. Si en vez de hilos de platina se emplean de cobre, plata ú otro metal capaz de oxidarse fácilmente, el oxígeno no se separa en estado de gas, sino que se combina con el hilo vítreo y le oxida. Para esta

esperiencia es indiferente que la pila esté aislada ó no.

Para conocer si los dos gases que se separan estan realmente en la proporcion que constituye el agua es necesario recogerlos y medirlos; y el aparato mas propio para este uso es el que representa la fig. 56, indicado por los Sres. Gay-Lussac y Thenard, en una obra de la que sacaremos una gran parte de los fenómenos que espliquemos sobre la accion química de la pila. EE es un embudo de vidrio, tapado por la parte interior con un tapon de lacre, por medio del cual se hacen pasar dos hilos de platina paralelos, distantes entre sí como un centímetro, y que se elevan por la parte interior del embudo, hasta cuatro ó cinco centímetros mas arriba del fondo. Se llena de agua el embudo, y se cubre cada hilo con una campanita de vidrio, igualmente llena de agua. En seguida se hacen comunicar los estremos esteriores de los hilos con los polos de la pila; se deja obrar el aparato por algun tiempo, y se miden los volúmenes de los gases que se hallan bajo las campanas. Se halla asi, que hay una cantidad dupla en volúmen de gas hidrógeno que de oxígeno, que es en efecto la proporcion que constituye el agua, pues restableciendo la combinacion por medio de una chispa eléctrica, no queda ningun residuo gasoso. Para no perder nada de la accion de la pila, es necesario que la comunicacion de los hilos con los polos del aparato esté perfectamente establecida; para lo cual lo mas cómodo es introducirlos en un vasito de vidrio lleno de mercurio, en que se sumergen igualmente dos arambres gruesos de hierro unidos á las láminas estremas de la pila.

Con este aparato han observado MM. Gay-Lussac y Thenard que la cantidad de gas desprendido en un tiempo dado por una misma pila, de cualquiera especie que sea, varía considerablemente, segun la naturaleza de las sustancias disueltas en el agua del embudo. Las disoluciones salinas concentradas, y las mezclas de agua y algun ácido, han

producido las separaciones mas abundantes y mas rápidas; el fenómeno ha disminuido á proporcion que ha sido menor la cantidad de sal ó de ácido; y en fin, apenas se ha separado ningun gas cuando el embudo solo ha contenido agua hervida y perfectamente pura. Asi que, el agua pura, que comunica una fuerte electricidad, como la que se escita por nuestras máquinas comunes, se hace casi aisladora, respecto á las débiles fuerzas repulsivas que produce el aparato electromotor. Se puede aplicar, pues, aqui la ley general que hemos hallado con relacion á las sustancias imperfectamente conductrices, á saber, que á una distancia dada de los hilos el aislamiento no debe ser perfecto, sino hasta cierto grado de fuerza repulsiva, determinado por el número de láminas del aparato; y del mismo modo que respecto á cada sustentáculo el grado de fuerza repulsiva en que empieza el aislamiento perfecto es inverso de las raices cuadradas de la longitud de los sustentáculos, asi en el aparato electromotor debe haber cierta distancia de los hilos, á la cual se halla enteramente cortada la comunicacion. Tambien se deberá hallar en él la influencia que ejerce sobre el aislamiento el contacto mas ó menos estenso del sustentáculo con el cuerpo aislado. M M. Gay-Lussac y Thenard han observado, en efecto, que acortando los hilos mas allá de cierto término, las cantidades de gas desprendidas de un mismo líquido disminuyen considerablemte; y vuelven á aumentar sustituyendo en el embudo otro líquido mas conductor. Esta falta de conductibilidad del agua puede hacerse sensible por una esperiencia muy sencilla. Habiendo aislado una pila, y colocado hilos conductores en sus polos, introdúzcanse los hilos en un vaso de vidrio que contenga agua comun, y al momento se desprenderán abundantemente los gases; y si se saca del agua uno de estos hilos tomándole en una mano, é introduciendo la otra mano en el agua del vaso, se esperimentará la conmocion ordinaria. Mas si en vez de

proceder así se establece la comunicacion por medio de una columna de agua de cuatro ó cinco milímetros de diámetro, y tres ó cuatro centímetros de longitud, lo cual puede hacerse aspirando el agua del vaso con un tubo de estas dimensiones puesto en la boca, en este caso, á pesar de que los órganos mas sensibles se hallan en el arco de comunicacion, apenas se esperimenta un ligero sabor, y absolutamente ninguna conmocion. Yo he dispuesto de este modo una pila de 68 piezas, cuyos polos comunicaban por medio de tubos no capilares, llenos de agua destilada, y como de un metro de longitud; el aparato ha estado en esta disposicion 24 horas, sin que se haya desprendido un átomo de gas; y haciendo comunicar los dos polos de la pila, por medio de las columnas de agua contenidas en los tubos, no se esperimentaba tampoco ninguna de las sensaciones que produce ordinariamente el aparato electromotor. En una palabra, todo sucedia como si se hubiese interpuesto entre los dos polos un cuerpo aislador; y todos los efectos volvian á presentarse luego que se establecia la comunicacion por la superficie libre del agua (1). Por tanto hubiera sido de desear que en las esperiencias de los señores Gay-Lussac y Thenard se hubiese probado el estender los hilos por la superficie del agua, pues yo creo que en este caso se hubiera restablecido la comunicacion entre los dos polos.

MM. Gay-Lussac y Thenard han tratado de ver si podrian descubrir alguna relacion entre las cantidades del gas desprendidas por una pila, y las de sal puestas en el agua del embudo; mas no han hallado ninguna relacion simple sino en el sulfate de sosa. Las cantidades de gas desprendidas en un tiempo dado son poco mas ó menos proporcionales á las raices cúbicas de las cantidades de esta sal, contenidas en el agua que se descompone. La disolucion de

(1) Diario de Física, año 9. (1800).

nitro ha presentado un efecto contrario, pues saturada de sal ha producido menos gas que sin saturar. Aqui parece necesario considerar dos cosas; la descomposicion que sufre el agua, y la que sufren los elementos de sal; y siendo compuesto el fenómeno, es claro que debe serlo tambien el resultado.

Se ha discurrido mucho sobre el modo con que se verifica la descomposicion del agua en las circunstancias que acabamos de describir, no pudiéndose dudar que el agua se descompone, puesto que las proporciones de los gases que se desprenden son siempre como sus principios constituyentes. Sola una de todas las opiniones que se han presentado parece estar de acuerdo con la esperiencia, á saber, que resintiendo las moléculas de agua que se hallan entre los dos hilos, la influencia de las electricidades opuestas de estos, se disponen y colocan unas á continuacion de otras, como una fila de condensadores, en cada uno de los cuales hay un polo vítreo y un polo resinoso; de manera, que cada polo resinoso toca á un polo vítreo; y en los estremos de la cadena, el hilo metálico vítreo comunica con el polo resinoso de una partícula, y al contrario. Supongamos, pues, que en esta polarizacion el oxígeno del agua contenga la electricidad resinosa y el hidrógeno la vítrea; en este caso, si la fuerza atractiva de la pila es suficiente para descomponer la primera molécula de agua, esto bastará para toda la cadena. El oxígeno de esta molécula, puesto en libertad, se separará bajo la forma de gas, ó se combinará con el hilo oxidándole; el hidrógeno de la misma partícula quedará tambien libre; pero como posee la electricidad vítrea, será atraido y contenido por el oxígeno de la molécula inmediata que posee la electricidad resinosa; descompondrá á su vez los elementos de esta partícula, se combinará con su oxígeno, y formará una nueva molécula de agua. Esta combinacion pondrá en libertad el hidrógeno de la segunda partícula, que obrará del mismo modo sobre la siguiente, hasta que se comunique la des-

composicion á la partícula de agua que se halla en contacto con el hilo resinoso. Al llegar aqui, no se prolongará mas la accion eléctrica de las partículas entre sí; el hidrógeno de la última no hallará oxígeno electrizado con quien pueda combinarse, y por consiguiente se desprenderá por medio de este hilo, ó se combinará con él.

Lo que acabamos de decir respecto al agua puede aplicarse á cualquiera otra sustancia que descomponga el aparato electromotor. La posibilidad de la descomposicion dependerá en general de tres elementos: 1.º de la mayor ó menor disposicion que los principios de que se compone esta sustancia tengan para tomar en cada partícula estados eléctricos opuestos: 2.º de la mayor ó menor energía de esta oposicion: 3.º y en fin, de la relacion de esta energía con la afinidad química de los principios de la sustancia entre sí. Si se obra sobre un cuerpo, cuyos principios se pongan fácilmente en un estado eléctrico muy opuesto, podrá suceder que la pila descomponga este cuerpo, aunque sea muy poderosa la afinidad química que reune estos principios. Si por el contrario, la afinidad es muy débil, pero los principios constitutivos del cuerpo tienen muy poca tendencia á ponerse en estados eléctricos opuestos, es muy posible que no se verifique la descomposicion. En fin, del mismo modo que en el frotamiento de los cuerpos unos con otros los hay que toman unas veces la electricidad vítrea y otras la resinosa, segun la naturaleza resinosa del frotador que se les aplica, del mismo modo podrá suceder que un principio químico tome ya el estado vítreo, ya el resinoso, segun las combinaciones en que entre; y aunque en general, cada principio debe llevar á todas las combinaciones las mismas disposiciones naturales, sin embargo, el último resultado dependerá de la analogía ó diferencia de las disposiciones que tengan los principios con quien se combine. En todas las esperiencias hechas hasta ahora con el aparato electromotor, el

oxígeno parece que conserva esta disposicion al estado resinoso que le hemos reconocido en el agua, y que se observa tambien en las esperiencias hechas con la electricidad ordinaria, en que el oxígeno del aire se dirige siempre hácia las superficies electrizadas vítreamente. Aun en cuerpos compuestos de muchos principios, algunos de los cuales tienen una gran afinidad con el oxígeno, este les ha comunicado su disposicion resinosa, y los ha arrastrado hácia el polo vítreo; y los demas principios han tomado el estado vítreo, y se han dirijido hácia el polo resinoso. En virtud de esta ley, todos los óxides y todos los ácidos que contienen oxígeno se han descompuesto por el aparato electromotor; el principio unido al oxígeno se ha transportado al polo resinoso; y el oxígeno, segun su disposicion constante, ha venido al polo vítreo. Estas curiosas observaciones se han hecho primeramente por los señores Hisenger y Berzelio. Mr. Humphry Davy, variándolas y estendiéndolas, llegó á probar la accion del aparato electromotor sobre los álcalis, que hasta entonces se habian tenido por cuerpos simples; y vió con admiracion suya y de la Europa sábia que se desprendian ampollitas de oxígeno, dirigiéndose al polo vítreo, al mismo tiempo que se reunian en el polo resinoso sustancias brillantes, de un aspecto metálico, aunque muy ligeras, que ardian en el aire con una grande energía, y que gozaban aun la singular propiedad de inflamarse en el agua. Estas eran, pues, las bases metálicas de la sosa y de la potasa, llamadas despues *sosio y potasio*. Pero estas mismas propiedades hacian que no pudieran estraerse sino átomos de estas sustancias, que se destruían en el aire al paso mismo que se formaban, y era necesario por lo mismo buscar un medio de preservarlas del contacto del aire que las devoraba. El doctor Seebeck inventó para esto un método muy simple, que consiste en combinar con el mercurio el sosio ó el potasio á medida que se desprende. Se forma en un fragmento de sosa ó potasa una cavidad

que se llena de mercurio; se coloca este fragmento sobre una lámina metálica, y se introduce en el mercurio el hilo resinoso de un aparato electromotor, que debe constar á lo menos de doscientos pares de láminas. El otro hilo se hace comunicar con la base metálica, y entonces se descompone la sosa y el agua que contiene; el oxígeno de una y otra se dirigen al polo vítreo, á donde le arrastra su estado eléctrico; y el hidrógeno y el sosio ó potasio se reunen por el contrario en el polo resinoso, donde el hidrógeno se desprende en forma de gas, y el sosio ó potasio se combina con el mercurio que le preserva del contacto del aire. De cuando en cuando se vierte esta amalgama en aceite de naphta, y se renueva el mercurio. Luego que se ha recogido una cantidad suficiente se destila en una retorta, que tenga la menor cantidad de aceite que sea posible; se evapora primero el aceite y despues el mercurio, con lo que queda libre el sosio ó el potasio. Para que pueda verificarse la descomposicion de la potasa ó de la sosa por el método que acabamos de decir, es necesario que estos álcalis contengan bastante agua para comunicar la electricidad de la pila; pero no una cantidad tan grande que sea necesaria toda la electricidad comunicada para su descomposicion, pues en este caso no se descompondria la sosa ó potasa. Mr. Davy y Mr. Seebeck han llegado á reconocer en los otros álcalis signos nada equivocos de doscomposicion; pero detalles mas prolijos sobre este punto no convendrian en una obra como esta; y asi solo añadiré, que fundados en el primer descubrimiento de Mr. Davy sobre la composicion de la potasa y de la sosá, MM. Gay-Lussac y Thenard, han llegado á estraer el oxígeno de estas sustancias valiéndose únicamente de las afinidades químicas.

Hasta aqui solo hemos considerado la accion de la pila en la descomposicion de los cuerpos: pero produce tambien otros efectos muy dignos de notarse. Por ejemplo, si se establece la comunicacion en-

tre sus dos polos por medio de hilos metálicos muy finos, y se acercan estos poco á poco uno á otro hasta el contacto, se establece entre ellos una atraccion que los mantiene unidos á pesar de su fuerza elástica; y si estos hilos son de hierro se escita entre ellos una chispa visible, que como veremos muy pronto, produce una verdadera combustion en el hierro. Este fenómeno se obtiene con mas seguridad poniendo á la punta de uno de estos hilos de hierro, una hojita de oro batido, que queda consumida en el parage á donde salta la chispa: con la cual puede inflamarse tambien el gas tonante, y aun el fósforo y el azufre, como con las chispas que da nuestras máquinas eléctricas comunes.

Aqui tratamos solamente de los efectos producidos por las pilas comunes cuyos discos son poco mas ó menos del tamaño de un duro; pero se concibe fácilmente que deben ser mucho mas considerables, empleando láminas que tengan mayor superficie, y reunidas en mayor número; porque siendo igual el número de los elementos y la naturaleza de los conductores húmedos de dos pilas, el grueso de la capa eléctrica, que se halla libre en cada lámina que ocupa igual puesto, es tambien igual, como indica la teoría y nos ha demostrado la esperiencia; de donde se sigue que las cantidades totales de electricidad que poseen estas pilas en el estado de equilibrio ó las que dan en el estado de movimiento, son exacta y constantemente proporcionales á las superficies de las láminas, cualesquiera que sean las modificaciones que puedan ocurrir en el curso de la esperiencia por causa de la accion de la misma pila. MM. Gay-Lussac y Thenard han hallado tambien, que las cantidades de gas desprendidas en un tiempo dado son proporcionales á las superficies de las láminas que se comparan, ó lo que es lo mismo, á las cantidades totales de electricidad. El mismo aumento se observa en todos los demas efectos químicos. Una pila compuesta de láminas anchas aunque conste de un pequeño

número de piezas, puede mas que muchos centímetros de arambre de hierro; y si á la mayor anchura de las láminas se une el aumento de fuerza que resulta de su número, entonces su energía es grandísima. Los primeros que han observado estos fenómenos han sido los señores Hachette y Thenard.

CAPITULO XVII.

Exámen de las alteraciones que sufre el aparato electromotor por su reaccion sobre sí mismo. Modificicaciones que de aqui resultan en su estado eléctrico.

La accion química de la columna eléctrica no se verifica solo en el estremo de los hilos por cuyo medio se establece la comunicacion entre sus dos polos; sino que igualmente se verifica entre sus elementos metálicos, haciendo las veces del líquido en que se introducen los hilos el conductor húmedo que se separa de dichos elementos. De aqui resultan en el interior mismo del aparato variaciones considerables que modifican su estado eléctrico, ya influyendo sobre la accion electromotriz de los elementos que le componen, ya alterando su conductibilidad.

El primer efecto de esta accion es una absorcion rápida del aire que rodea al aparato; lo cual puede conocerse de un modo muy sencillo, colocando una pila vertical sobre una base rodeada de agua, y cubriéndola con una campana cilíndrica de vidrio, que entre tambien en el agua por su parte inferior, fig. 57. En pocos instantes se ve subir el agua en el interior de la campana, sobre todo si la comunicacion entre los dos polos de la pila se establece por medio de hilos de metal, de modo que se produzca una circulacion de la electricidad. Cuando la comunicacion no se halla establecida, la absorcion se verifica tambien, pero con mucha mayor lentitud, y en todos casos, al cabo de un tiempo

mas ó menos largo, segun el volúmen de la pila y la cantidad de aire que la rodea, cesa la absorcion, y el aire que queda debajo de la campana no presenta la menor señal de oxígeno. Este fenómeno ha sido descubierto por Mr. Federico Cuvier y por Mr. Biot poco tiempo despues de haberse conocido en Francia el aparato electromotor. En el dia podemos ir aun mas allá, y penetrar su causa, que sin duda consiste en la afinidad del oxígeno con las superficies electrizadas vítreamente, como lo estan los elementos de zinc de la pila; y en efecto, estos elementos son los que se hallan oxidados. El efecto es enérgico y durable cuando la pila se coloca de este modo bajo una campana llena de gas oxígeno puro; su accion se prolonga mucho más allá de lo que hubiera durado en el aire atmósferico; y cuando parece que se halla estinguida, sumergiendo la pila en una atmósfera de azoe, la restitucion de una pequeña cantidad de oxígeno basta para reanimarla.

Cuando se desmontan las pilas que han estado en accion durante muchas horas, y aun muchos dias, bajo una campana que impide la renovacion del aire atmosférico con una comunicacion constante entre sus polos, los discos metálicos que las componen se hallan tan fuertemente adheridos entre sí y á los círculos húmedos, que es muy dificil separarlos. Cuando se ha conseguido se ve que la accion química de la pila ha obrado sobre sí misma, y producido alteraciones muy notables sobre sus propios elementos. Si la pila se ha montado de este modo, zinc, húmedo, cobre, zinc &c., fig. 58, colocándola sobre el zinc, se ve constantemente que se han desprendido moléculas del zinc inferior, dirigiéndose hácia el cobre superior, partículas de este hácia el zinc que se halla encima, y asi sucesivamente de abajo arriba. Si la situacion de la pila es inversa, cobre, húmedo, zinc, cobre &c, fig. 59, el cobre baja sobre el zinc inferior, el zinc sobre el cobre, y asi de arriba abajo en toda la columna. La direccion de esta *transla-*

cion es inversa con relacion á la vertical; pero permanece la misma con respecto al órden de los elementos que componen el aparato.

Segun la disposicion de este, el zinc, para dirigirse sobre el cobre, tiene que atravesar el pedazo de paño húmedo que los separa; y esta transmision no se verifica en las pilas en que la comunicacion de los polos no se halla establecida. En este caso, la superficie del cobre se halla tersa, y la del zinc opuesta á ella está cubierta de vetitas negras que siguen la direccion de los hilos del paño. Cuando hace poco tiempo que se ha establecido la comunicacion empiezan á pasar hácia el cobre algunas partículas de óxide; y en fin, si la accion es muy fuerte, la superficie del cobre llega á cubrirse enteramente de ellas. Entonces cesa la accion química y fisiológica de la pila; ya porque el óxide de zinc que se halla junto al cobre ejerce sobre él una accion electromotriz que contrabalancea la del zinc metálico que le toca por la otra cara, ó ya porque la interposicion de esta capa de óxide ofrece un obstáculo demasiado grande á la transmision de la electricidad, ó ya en fin, que es lo mas probable, porque ambos efectos se produzcan á un mismo tiempo.

Algunas veces el óxide de zinc, despues de haber atravesado el paño húmedo, se vivifica sobre el cobre, y vuelve al estado metálico; y entonces el elemento sobre quien se verifica esta precipitacion pierde toda su fuerza electromotriz, puesto que en él se halla el cobre en contacto con dos partes de zinc.

Dirigiéndose el movimiento de translacion del zinc al cobre atravesando los conductores húmedos, cuando el cobre se dirige sobre el zinc es siempre por las superficies que se tocan inmediatamente: si el cobre se adhiere al zinc conserva su brillo metálico, y algunas veces se forma laton. Estas vivificaciones no se verifican cuando no se halla establecida la comunicacion entre los estremos de la pila, y aun es necesario para que puedan tener lugar que

los discos de paño no sean muy gruesos ni de un tejido muy espeso.

Creo que estos son los primeros fenómenos de translacion que se han observado en el aparato electromotor; y Cuvier lo habia ya reconocido en las esperiencias de que he hablado antes. Sobre todo se hacen sensibles en las pilas compuestas de láminas de un diámetro muy pequeño, en las cuales la reaccion sobre sí mismas es incomparablemente mayor y mas pronta que en las pilas de discos anchos.

Comprobadas todas estas alteraciones anteriores es preciso examinar qué influencia pueden tener sobre el estado eléctrico, y por consiguiente sobre la permanencia química del aparato electromotor.

Empecemos por la absorcion del oxígeno, por cuyo medio se aumenta la energía química de la pila. Es claro que este aumento no se verificaria si fuese perfecta la conductibilidad; pues entonces cada elemento metálico de la pila estraeria instantáneamente del suelo por transmision directa la cantidad de electricidad que necesita, segun el lugar que ocupa. Las esperiencias del capítulo anterior demuestran que este caso es enteramente ideal; y aunque haya sido útil considerarle al principio para concebir mejor el aumento de electricidad producido por la superposicion de las parejas metálicas, es indispensable modificar estas abstracciones por la circunstancia de una conductibilidad imperfecta, para tener una idea completa de la pila, tal como debe formarse.

Segun las ideas de Volta, el oxígeno no podria obrar sino estableciendo una comunicacion mas íntima entre los elementos metálicos de la pila, y comprimiéndolos, por decirlo asi, unos contra otros y con los círculos húmedos por medio de la oxidacion; y en efecto, parece verosimil que esta adherencia contribuye á aumentar la conductibilidad, sobre todo al principio de la accion. Pero luego que ha llegado á ser bastante fuerte, para que toda la pila no forme en cierto modo mas que una masa sólida, cuan-

do se han secado los círculos interpuestos entre los discos, ha sido absorvido todo el oxígeno que rodeaba al aparato, y la accion química parece hallarse estinguida completamente, ¿qué nuevo grado de adherencia puede producir la introduccion de una nueva cantidad de oxígeno? ¿No parece mas bien que éste oxígeno reanime la pila introduciéndose entre los círculos de paño, y dando á cada disco de zinc con quien se combina la cantidad de electricidad que necesita para volverse á cargar hasta el punto que exige el lugar que ocupa en la pila? En este caso el estado eléctrico de los discos viene é ser el mismo que si hubiesen sacado del suelo su electricidad, y repara sus pérdidas con la misma rapidez; la accion química de la pila vuelve á verificarse como antes de haberse secado los círculos de paño.

Pero si el oxígeno comunica la electricidad al zinc, ¿de dónde toma esta electricidad? ¿Se separa en su combinacion con el zinc, y en general, los fenómenos químicos que se verifican en el interior de la pila desprenden la electricidad que esta necesita? Algunas esperiencias muy delicadas, hechas con la balanza eléctrica, prueban que la porcion de electricidad que puede desprenderse de este modo es mucho menor que la que circula por el aparato; y asi el oxígeno que se halla al rededor no prolonga la accion de una pila sino sirviendo el mismo de conductor entre los elementos metálicos que la componen; y he aqui cómo puede concebirse esta comunicacion.

Supongamos una pila montada de este modo, cobre, zinc, húmedo, y hagámosla comunicar con el suelo por su cara de cobre. En el estado de equilibrio todas las piezas de esta pila tendrán un esceso de electricidad vítrea dependiente del puesto que ocupan; si se toca la pieza superior, el esceso que posee pasará al suelo, y ella procurará volverle á tomar de las piezas inferiores por medio de los conductores húmedos. Pero no siendo estos perfectos necesitará algun tiempo para verificarlo; y si la des-

carga se repite antes de que haya podido hacerse la comunicacion, la pieza superior tomará electricidad vítrea á la de cobre que está en contacto con ella; y por tanto esta se hallará con un esceso de electricidad resinosa; y lo mismo sucederá mas ó menos á todas las piezas metálicas que componen la pila.

Esto supuesto, introduzcamos al rededor de la pila una atmósfera de oxígeno; este se hallará atraido por todos los discos de zinc que se encuentran en el estado vítreo; y se combinará con su sustancia en virtud de la afinidad que tiene con ella y de la influencia eléctrica que le impele. El óxide de zinc que resulte será atraido hácia la superficie de la pieza de cobre que se halla mas arriba, y que la imperfeccion de los conductores deja en el estado resinoso; llevará á esta pieza la electricidad vítrea del zinc metálico que abandona, y este movimiento de traslacion continuado de abajo arriba en la pila restablecerá la transmision de la electricidad. Lo mismo sucederia en una pila que comunicase con el suelo por el polo zinc, porque el estado imperfecto de los conductores hará del mismo modo que los elementos metálicos adquieran estados eléctricos opuestos.

Esta esplicacion de Davy se aplica igualmente á todas las demas descomposiciones químicas que se verifican en lo interior de la pila. Los productos que resultan de ellas, atraidos hácia las superficies electrizadas de un modo opuesto, llevan consigo la electricidad y producen directamente el mismo resultado que ocasionaria una conductibilidad perfecta.

Debe creerse que todas las modificaciones que ocurran en el estado químico de los conductores húmedos influirán sobre la accion de la pila, y aun sobre la cantidad de electricidad que comunique al condensador por un simple contacto; y de aqui las diferencias que presentan las mismas pilas á diferentes épocas de su accion; lo cual debe influir en la progresion de su energía segun el número de piezas.

La debilitacion progresiva é inevitable de los apa.

ratos electromotores montados con conductores húmedos ha hecho hacer á los fisicos una infinidad de tentativas para descubrir una construccion de pilas en que no se empleasen mas que conductores bien secos. Hasta ahora han sido inútiles todos sus esfuerzos, ó á lo menos las pilas construidas de este modo no han tenido nunca una conductibilidad suficiente para producir las descomposiciones químicas, objeto principal de desearse un aparato permanente.

Respecto á esto, Volta ha observado entre las sustancias metálicas una relacion muy digna de observarse, que hace imposible la construccion de una pila con solas estas sustancias.

Si se colocan los metales en este órden, plata, cobre, hierro, estaño, plomo, zinc, cada uno de ellos adquirirá el estado vítreo por el contacto con el que le procede, y resinoso por el contacto con el que le sigue. Luego la electricidad vítrea pasará de la plata al cobre, y asi sucesivamente.

Ahora bien, la propiedad de que se trata consiste en que la fuerza electromotriz de la plata al zinc es igual á la suma de las fuerzas electromotrices de los metales que se hallan comprendidos entre estos en la serie; de donde se sigue, que poniéndolos en contacto en este órden ó en cualquiera otro que se elija, los metales estremos se hallarán siempre en el mismo estado que si se tocasen inmediatamente. Por tanto, si se supone un número cualquiera de elementos dispuestos de este modo, cuyos estremos sean, por ejemplo, plata y zinc, se tendrá el mismo resultado que si solo hubiese estos dos metales, esto es, no se producirá ningun efecto, ó solo el que se hubiera producido con un elemento único.

Hasta ahora parece que la propiedad anterior se estiende á todos los cuerpos sólidos que son muy buenos conductores; pero no se verifica entre estos y los líquidos, que es la razon porque se consigue el efecto de la pila formándola con el intermedio de estas últimas. De aqui resulta la division que hace

Volta de los conductores en dos clases, comprendiendo la primera los cuerpos sólidos, y la segunda los líquidos. No se ha podido construir el aparato electromotor sino por una mezcla conveniente de estas dos clases; se hace imposible con la primera solamente, y no se conoce con bastante exáctitud la accion mútua de los cuerpos que componen la segunda para poder decidir si con ellos sucede lo mismo. Sin embargo, parece que no debe ser asi, porque la naturaleza ha construido verdaderas pilas de líquidos en los aparatos eléctricos de ciertas especies de peces, particularmente del torpedo ó tremielga. Estos aparatos, colocados cerca del estómago del animal, estan compuestos de una multitud de tubos situados unos al lado de otros, y llenos de un líquido particular; y parece que el animal puede poner en accion esta pila cuando quiere, y comunicar verdaderas conmociones eléctricas á los cuerpos animados con que se halla en contacto.

Mas ya que no se ha podido conseguir la formacion de aparatos voltáicos, absolutamente secos é indescomponibles, á lo menos se ha conseguido construirlos de modo que su accion, aunque muy débil, es de larga duracion. Tal es la pila que ha construido Mr. Hachette con parejas metálicas separadas por una simple capa de engrudo mezclado con sal marina: luego que se seca esta capa, la humedad que atrae de la atmósfera la hace bastante conductriz para que el restablecimiento del equilibrio eléctrico entre los elementos metálicos se verifique en un tiempo inapreciable: asi es que carga el condensador por un simple contacto, sensiblemente instantáneo, y conserva esta propiedad durante meses y aun años enteros; lo cual la hace un verdadero electróscopo; pero no produce ni conmocion, ni sabor, ni accion química. Mr. Zamboni ha construido tambien una pila, cuyo efecto eléctrico parece muy durable, componiéndola de discos de papel dorado ó plateado por una de sus caras, y cubierta la

otra con una capa de óxide de manganesa pulverizado. En la superposicion de estos discos las capas metálicas se hallan formadas de plata ú oro y de óxide de manganesa, y el papel intermedio sirve de conductor. De aqui resulta una transmision de electricidad muy débil; y asi solo se obtienen signos eléctricos, como con la pila de engrudo, pero no accion química, conmocion ni aun sabor. Esta última clase de fenómenos exije, pues, un restablecimiento de equilibrio eléctrico mas rápido. Para hacer palpables los efectos de este retardo he construido pilas en que el cuerpo húmedo estaba reemplazado por discos de nitrate de potasa fundidos al fuego; su conductibilidad era tan débil, que el condensador empleaba en cargarse un tiempo sensible, y lo hacia progresivamente mas y mas, hasta cierto límite, en que la carga era la misma que con las pilas mas enérgicas de igual número de piezas. Segun la ley que seguian estas cargas he podido deducir que la cantidad inicial de electricidad comunicada al condensador por una pila semejante, era incomparablemente menor que con las pilas ordinarias; y como estas cargas iniciales son las que producen las descomposiciones químicas cuando se establece la comunicacion entre los dos polos, se ve por qué estas pilas, cuya conductibilidad es tan débil, no producen estos fenómenos, y no dan accion química, sabor ni conmocion.

CAPITULO XVIII.

De las pilas secundarias.

Mientras se agotaban todas las combinaciones á fin de formar un aparato electromotor únicamente compuesto de sustancias secas y por consiguiente inalterables, Ritter descubria uno, que sin poder desenrollar la electricidad por su accion propia, es susceptible de cargarse por la pila voltáica, de modo que adquiera, aunque pasageramente, todas sus

propiedades. Este instrumento es lo que se llama pilas secundarias de Ritter.

Para tener una idea exacta de ellas es necesario conocer una observacion hecha anteriormente por Mr. Hermann, sobre la conductibilidad imperfecta de las sustancias vejetales empapadas en agua.

Si se aisla una columna eléctrica, cuyo polo superior sea vítreo y el inferior resinoso, y se comunican estos polos por un conductor imperfecto, como seria respecto á estas cantidades pequeñas de electricidad una tira de papel mojada en agua pura, cada mitad de ella tomará la electricidad del polo con quien comunica; la superior será vítrea y la inferior resinosa. Este fenómeno es una consecuencia de las leyes que sigue la electricidad cuando se distribuye sobre cuerpos que la comunican imperfectamente.

Si se separa este conductor imperfecto con un cuerpo aislador, como una varilla de vidrio; el equilibrio entre sus dos estremos no se restablecerá instantáneamente, y quedarán sus dos partes por algun tiempo la una vítrea y la otra resinosa, como cuando comunicaban con los dos polos de la pila. Sus diferencias disminuirán poco á poco, á medida que se descompongan las electricidades contrarias; y en breve, neutralizándose sus acciones, se harán insensibles.

A esto se reduce precisamente la esperiencia fundamental de Mr. Ritter, solo que reemplaza la faja de papel mojado con una columna compuesta de discos de cobre y de carton triturado alternativamente. Esta columna es incapaz de poner en movimiento la electricidad por sí misma, á lo menos si los elementos de cada especie que la componen se suponen homogéneos entre sí; pero se carga por la comunicacion con la pila, como la tira de papel húmedo de que hemos hablado. Sin embargo, hay una diferencia esencial entre ambos resultados. Parece que la electricidad, cuando es débil, encuentra alguna dificultad en pasar de una superficie á otra; á lo menos asi aparece de las esperiencias de Mr. Ritter,

y acaso esta dificultad proviene de la capa imperceptible de aire no conductor que se adhiere á la superficie de todos los cuerpos. La electricidad introducida en la columna de un solo metal sufre, pues, una dificultad semejante para pasar del metal al carton húmedo, y este obstáculo crece á medida que son mas numerosas las alternativas: asi, luego que esta pila se halle cargada, debe perder muy poco á poco su electricidad, cuando no hay comunicacion directa entre sus dos polos. Pero si se establece esta comunicacion por medio de un buen conductor, verificándose con velocidad la salida de las dos electricidades y su combinacion, producirá una descarga que causará, como en la botella de Leyden, una conmocion instantánea. A este efecto sucederá un nuevo estado de equilibrio, en que las fuerzas repulsivas de las diferentes láminas se hallarán disminuidas en razon de la cantidad de electricidad que se ha neutralizado instantáneamente. Las descargas deben repetirse debilitándose á medida que se reiteren los contactos, y dejando muy pronto de ser sensibles por efecto de la igualdad de carga que tratan de restablecer en todas las partes del aparato. En fin, el efecto de esta columna proviene de que alternativamente se hace mejor ó peor conductor, segun sus dos estremos comunican ó no entre sí.

En cuanto al modo con que debe disponerse en ella la electricidad debe ser tal, que su fuerza repulsiva en la superficie de cada lámina, combinada con la resistencia de las superficies contiguas, equilibre á las acciones reunidas de todas las otras. Por consiguiente, si se supone impar el número de los elementos y todo el aparato aislado, las cantidades de electricidad irán disminuyendo desde los dos estremos, en que serán iguales y de signo contrario, como en la pila primitiva, hasta el centro en que serán nulas; pero si el aparato comunica con el suelo por su base, la electricidad irá creciendo en toda la longitud de la columna, desde la base donde

será nula hasta la parte superior, en que será igual á la de la pila primitiva.

El aparato que acabamos de describir reproduce, aunque con una intensidad menor, las conmociones, descomposiciones del agua y los otros efectos fisiológicos ó químicos que se obtienen con la pila ordinaria. Mr. Ritter ha sacado de ella muchos resultados interesantes variando el número y órden de los discos de carton y cobre; y ha observado que de cuantos modos se pueden disponer cierto número de conductores heterogéneos, la colocacion en que hay menos alternativas es la mas favorable á la transmision de la electricidad. Por ejemplo, si se construye una pila con 64 discos de cobre y otros tantos de carton húmedo, dispuestos en tres masas, de manera que todos los cartones formen un conjunto, terminado por una y otra parte por 32 discos metálicos, esta pila conducirá muy bien la electricidad de la columna de Volta, y por consiguiente se cargará muy poco ó nada de una manera permanente. Si se interrumpen los conductores húmedos por medio de una lámina de cobre, disminuye ya la facultad conductriz: si las interrupciones son mas frecuentes, se disminuye todavía mas, y multiplicándolas se llega á obtener una columna en que la conductibilidad es casi insensible. Estos fenómenos han hecho conocer la resistencia que halla una electricidad débil para pasar de una superficie á otra; resistencia que no se verifica sino en este estado de debilidad, pues por una propiedad singular, luego que la electricidad es bastante fuerte para vencerla, se abre un libre paso y se disipa enteramente.

Acabamos de ver que cambiando la distribucion de los elementos en una pila secundaria se puede alterar segun se quiera su facultad conductriz: era, pues natural pensar que estas modificaciones influirian diversamente sobre los efectos químicos y fisiologicos. Para seguir su efecto progresivo Mr. Ritter ha variado la colocacion de un número dado de

conductores húmedos y sólidos, desde la separacion en dos solos grupos hasta las alternativas mas numerosas, y he aqui los resultados que ha obtenido.

Un número muy pequeño de alternativas se deja atravesar con facilidad por la corriente eléctrica de la pila primitiva, suponiendo que esta sea bastante fuerte: el aparato no se carga, pues, de un modo permanente, y los efectos químicos y fisiológicos son nulos. Si se multiplican las alternativas, permaneciendo la misma la pila primitiva, la secundaria empieza á cargarse: comunica electricidad al electróscopo, y separa del agua algunos globulillos de gas, pero aun no causa ninguna conmocion en los órganos. Aumentando aun el número de alternativas aumenta tambien la carga eléctrica, y se obtiene la descomposicion del agua, el sabor y la conmocion; pero pasando de cierto límite las alternativas cesa el aumento de los efectos químicos y fisiológicos, aunque permanezca constante ó continúe aumentando la carga eléctrica total. Pasado este término, la carga eléctrica se mantiene la misma; pero todos los demas efectos se debilitan, cesando primero la separacion de globulillos de gas del agua, y despues la conmocion. Se llega, pues, al otro estremo de una conductibilidad demasiado imperfecta; y la progresion con que se estinguen estos fenómenos, permaneciendo constante la carga eléctrica acaba de poner en evidencia lo que hemos dicho antes acerca del modo con que depende de la velocidad de la transmision. Conforme á los mismos principios, se ve por qué el aparato de Ritter es mas á propósito que ningun otro para evidenciar separadamente estos dos géneros de accion. En la pila ordinaria la cantidad de electricidad libre aumenta segun el número de piezas, y balancea á la resistencia que resulta de las alternativas; en vez de que en la pila secundaria la fuerza repulsiva de la electricidad en los dos polos no puede nunca ser superior á la de la pila primitiva, y la resistencia que producen las

alternativas se emplea enteramente en modificar el movimiento de una misma cantidad de electricidad.

Ultimamente, si la columna de Volta puede cargar de este modo la pila secundaria de Ritter, debe esta facultad á que la fuerza repulsiva en sus dos polos es estremamente débil, y por decirlo asi, imperceptible. Una electricidad mas fuerte, como la de las máquinas eléctricas ordinarias, atravesaria el sistema de cuerpos conductores que forman la pila secundaria, y entonces no podria producir ninguno de los efectos que resultan de su acumulacion.

Las diferencias que existen entre las acciones químicas de las pilas ordinarias, en razon del tamaño de sus láminas, se verifican igualmente en las pilas secundarias. La naturaleza de los cartones y su grueso, la de la disolucion que los humedece, y en fin, el órden con que se hallan mezclados y otra multitud de circunstancias, modifican estos efectos de mil modos, que es tan útil como curioso examinar.

Estando formada la pila secundaria, como hemos dicho antes, con un solo metal y una sustancia húmeda, parece á primera vista que no debe tener electricidad por sí misma, y en efecto, su accion propia antes de cargarla apenas es apreciable; mas se puede hacer sensible poniendo en comunicacion con sus dos estremos los músculos y los nervios de una rana.

CAPITULO XIX.

Sobre la diferente resistencia que encuentran las dos electricidades al atravesar diferentes cuerpos cuando se hallan debilitadas.

Al estudiar el modo con que se descarga la electricidad, atravesando cuerpos de diferente naturaleza, hemos reconocido que aun los que parece que mejor la conducen, oponen á su paso una resistencia apreciable; y comparando estos resultados con los que nos han dado los sustentáculos que aislan imperfectamente, hemos debido inferir que la im-

perfeccion de la conductibilidad se haria cada vez mas sensible, á medida que se disminuya la fuerza repulsiva de la electricidad comunicada; de modo que al llegar á cierto grado de debilidad, todos los cuerpos, y aun los mismos metales, producirian un aislamiento imperfecto. El aparato electromotor, que ofrece un manantial contínuo de electricidad con una fuerza repulsiva muy débil, reunia las condiciones mas á propósito para este género de pruebas; y asi nos ha hecho descubrir en las propiedades conductrices de los líquidos diferencias é imperfecciones que nuestras máquinas eléctricas comunes no nos hubieran dado á conocer.

Aplicándose á investigaciones de este género, Mr. Ermann ha hecho la curiosa observacion de que la facultad conductriz de ciertos cuerpos es diferente respecto á las dos electricidades; de suerte, que disminuyendo progresivamente la fuerza repulsiva, se halla un término en que el cuerpo es aislador respecto á una de ellas, y conductor respecto á la otra, y lo prueban las esperiencias siguientes.

Mr. Ermann aisla un aparato electromotor, montado con un líquido buen conductor, por ejemplo, la disolucion del muriate de sosa, y hace comunicar cada uno de sus polos con un electróscopo de hojillas de oro, muy sensible, é igualmente aislado. Muy en breve adquiere cada electróscopo el grado de divergencia correspondiente al número de discos, y el o eléctrico se halla en medio del aparato.

Hecho esto toma un prisma de jabon alcalino bien seco, é introduce en uno de sus estremos un hilo metálico que comunica con el suelo. Si toca con el otro estremo uno de los polos de la pila queda este al momento descargado, y se hace nula la divergencia del electróscopo, aumentando por el contrario la del electróscopo del polo opuesto. Todo sucede como si el polo tocado por el prisma hubiera comunicado con el suelo, y el jabon parece hacer entonces el oficio de conductor, indiferentemen-

te respecto á ambas electricidades.

Ahora bien, permaneciendo siempre aislada la pila y restablecidas las fuerzas repulsivas de los dos polos, háganse comunicar estos polos entre sí por el intermedio del mismo jabon, introduciendo en sus dos estremos hilos metálicos que vayan á terminar en ellos; á pesar de esta comunicacion, los dos electróscopos continuarán divergiendo como antes; de suerte, que el jabon parece que hace el oficio de un cuerpo no conductor.

Pero luego que se ha reconocido bien el aislamiento tóquese el jabon un instante con un hilo de metal que comunique con el suelo; al punto quedará neutralizado el polo resinoso, y llegará á su maximum la fuerza repulsiva del polo vítreo. Luego aqui el jabon vuelve á tomar de nuevo su facultad conductriz, pero solo para dejar pasar la electricidad resinosa, que es siempre la que comunica con preferencia, aun cuando se le toque muy inmediato al hilo que se dirije al polo vítreo de la pila. Este, sin embargo, no queda menos aislado.

La llama del alcool presentó á Mr. Ermann efectos semejantes; pero la disposicion conductriz estaba en favor de la electricidad vítrea. Todo esto debe entenderse solo de los grados de electricidad muy débiles, como los que da el aparato electromotor; porque la llama del alcool y el jabon conducirian, aunque imperfectamente, de un modo sensiblemente igual, electricidades mas enérgicas.

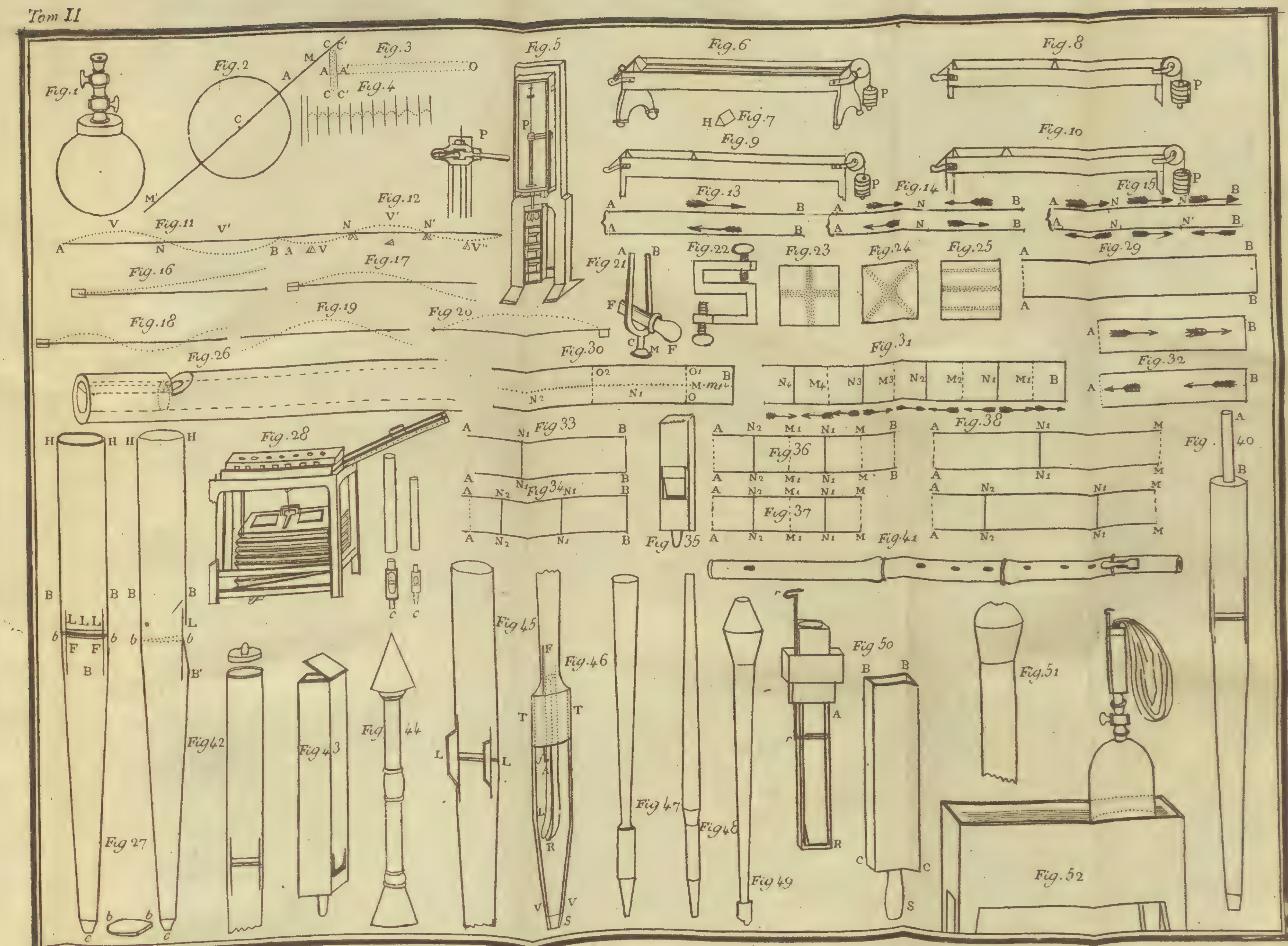
Repitiendo estas esperiencias se ha observado una propiedad en el eter sulfúrico, que completa las que ha descubierto Mr. Ermann. Este líquido interpuesto entre los dos polos de la pila parece aislarlos como el jabon y el alcool: si se coloca en el círculo de comunicacion un aparato para la descomposicion del agua no se desprende ningun gas, y en fin, son completos todos los signos de aislamiento. Pero si se toca un solo instante el eter con un hilo metálico para hacerle comunicar con el sue-

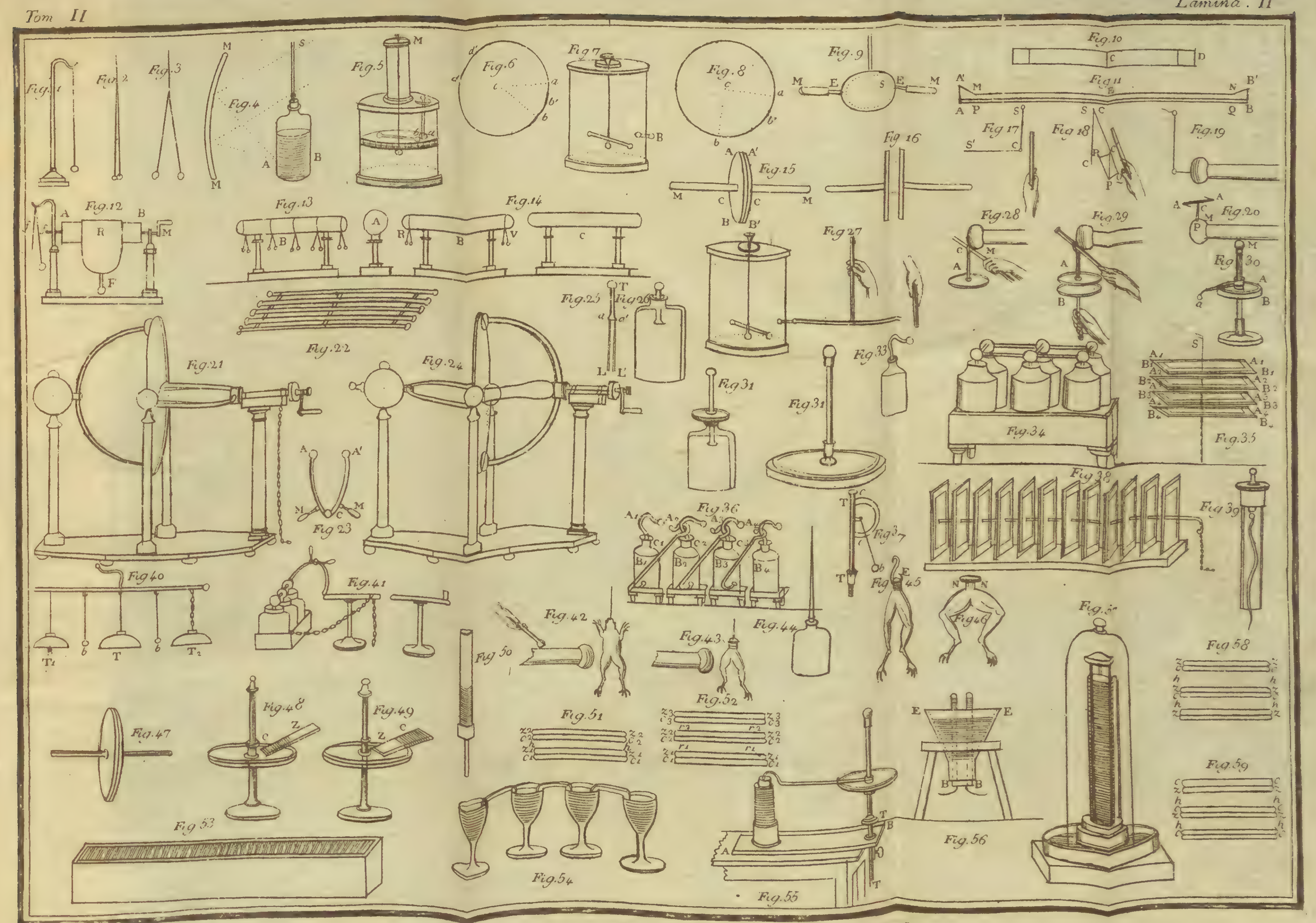
lo, aplicando al mismo tiempo un condensador á cualquiera de los dos polos de la pila, este condensador se carga completamente, como si el eter de repente se hubiera hecho conductor de la especie de electricidad que corresponde al polo á que se ha aplicado el condensador. Refiriendo estas esperiencias hemos dicho que los dos polos de la pila *parecian* aislados por la interposicion de un prisma de jabon alcalino. En efecto, el aislamiento no es sino parcial. El movimiento de la electricidad en el prisma de jabon no es absolutamente nulo; solo es mucho mas lento que en la misma pila, lo cual hace que esta se vuelva á cargar sensiblemente, y á adquirir una tension en sus polos mientras el jabon la descarga. La prueba es que el mismo prisma de jabon conduce absolutamente toda la electricidad de una pila menos conductriz, tal como la pila de engrudo; porque quita absolutamente toda tension á sus polos, de modo que el condensador no se carga por su contacto. La llama de alcool interpuesta entre los dos polos de esta misma pila no la descarga tan completamente, pues deja subsistir una tension en que pueden repetirse las esperiencias de Mr. Ermann. Esta llama conduce, pues, la electricidad menos bien que el jabon alcalino.

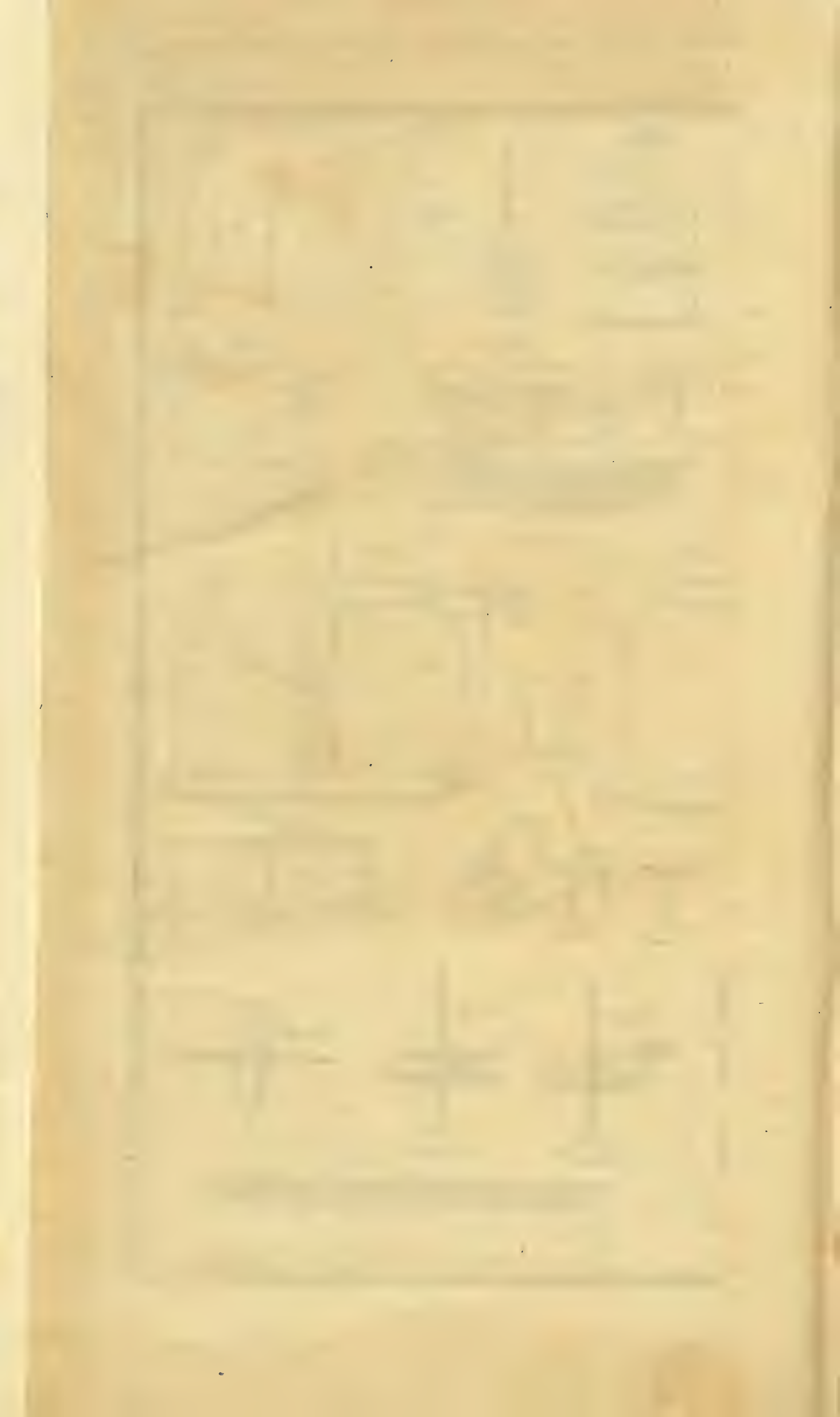
FIN DEL TOMO SEGUNDO.

TABLA

DE LOS LIBROS Y CAPÍTULOS QUE CONTIENE ESTE TOMO.


Fig.1
Fig.2
Fig.3
Fig.4
Fig.5
Fig.6
Fig.7
Fig.8
Fig.9
Fig.10
Fig.11
Fig.12
Fig.13
Fig.14
Fig 15
Fig.16
Fig.17
Fig.18
Fig.19
Fig 20
Fig 21
Fig.22
Fig.23
Fig.24
Fig.25
Fig.26
Fig 27
Fig.28
Fig.29
Fig.30
Fig.31
Fig.32
Fig 33
Fig34
Fig 35
Fig36
Fig 37
Fig.38
Fig . 40
Fig.41
Fig42
Fig 43
Fig 44
Fig 45
Fig.46
Fig 47
Fig48
Fig 49
Fig 50
Fig.51
Fig.52


Fig.1
Fig.2
Fig.3
Fig.4
Fig.5
Fig.6
Fig.7
Fig.8
Fig.9
Fig.10
Fig.11
Fig.12
Fig.13
Fig.14
Fig.15
Fig.16
Fig.17
Fig.18
Fig.19
Fig.20
Fig.21
Fig.22
Fig.23
Fig.24
Fig.25
Fig.26
Fig.27
Fig.28
Fig.29
Fig.30
Fig.31
Fig.31
Fig.33
Fig.34
Fig.35
Fig.36
Fig.37
Fig.38
Fig.39
Fig.40
Fig.41
Fig.42
Fig.43
Fig.44
Fig.45
Fig.46
Fig.47
Fig.48
Fig.49
Fig.50
Fig.51
Fig.52
Fig.53
Fig.54
Fig.55
Fig.56
Fig.58
Fig.59






UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Biblioteca
UNIVERSIDAD DE SEVILLA
600704192
i 25923377



40
BIOT
FISICA
ESPERIM
2
207


colorchecker CLASSIC
calibrite
mm